



gegründet vom

Verbande der Glasindustriellen Deutschlands

Glasschmelz-Hafenöfen
mit
Regenerativ-Feuerung

Im Selbstverlag der WBG
Mai 1926

Vorwort.

Nachdem sich die *Gaserzeugung* in Glashütten unter nachhaltiger Mitarbeit der W. B. G. allmählich dem Stande der neuesten Technik anpaßt, muß auch versucht werden, beim *Bau und Betrieb der Oefen* wirtschaftlich-technische Arbeitsweisen schärfer zur Geltung zu bringen als bisher. Die Ausbildung des Gaserzeugers erfolgte durch Maschinenbau und Feuerungstechnik. Dagegen blieben die Glasöfen in der Entwicklung zurück, weil sie, entsprechend ihrer Eigenart, auf eine selbständige Behandlung angewiesen, diese weder von der Glasindustrie selbst, noch von außen her in dem erwünschten Maße erfuhren. In den meisten Fällen werden die Oefen auch heute noch von den Glashütten selbst nach alten „bewährten" Vorbildern gebaut, wobei der Fortschritt durch unsicher tastende Aenderungsversuche erstrebt wird.

Aus dem umfangreichen Gebiet der Glasöfen behandelt die W. B. G. zunächst in der vorliegenden Schrift die Schmelzöfen, und zwar *Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativfeuerung* als dasjenige System, welches gegenwärtig zum weitaus überwiegenden Teil in deutschen Glashütten in Anwendung ist. Eine Schrift über *Wannenöfen*, die eine höhere Stufe der technischen Entwicklung darstellen, wird im nächsten Jahre folgen. Ueber Rekuperativfeuerungen, die unter gewissen Verhältnissen größere Beachtung verdienen, als ihnen in Deutschland bisher geschenkt wird, liegen bis jetzt bei der W. B. G. infolge ihrer geringen Verbreitung wenig Erfahrungen vor, sodaß auf ihre Besprechung vorläufig verzichtet wird.

Allgemein soll durch die Schrift über bestehende Hafenofenanlagen ein Ueberblick geschaffen werden, der die vielseitigen und abweichenden Ausführungen der kritischen Behandlung eröffnet. Im besonderen soll sie den Glashütten durch Klärung der Gesichtspunkte, die bei der Wahl des Systems, der Gestaltung und der Abmessungen zu berücksichtigen sind, zur Seite stehen. Die hauptsächlichsten Mängel werden besprochen, ihre Ursachen begründet und Mittel zur Abhilfe angegeben. Für die Beziehungen zwischen Abmessungen, Leistungen und Brennstoffverbrauch werden Zahlenwerte angegeben, welche Aufschluß über die unter normalen Betriebsverhältnissen zu erwartenden Ergebnisse bringen. Auf diesem Wege will die Abhandlung eine Verbilligung der Selbstkosten für die Glasschmelze herbeiführen. Nicht behandelt sind rein bautechnische Fragen des Ofens, wie z. B. Wahl der Baustoffe, Wandstärken usw.

Die Entstehung der Schrift vollzog sich in drei Stufen, nämlich:

1. Sammlung von Ergebnissen praktischer Messungen und Untersuchungen durch Ingenieure der W. B. G. und der Mitgliedshütten.
2. Statistische Umfrage bei den Mitgliedshütten der W. B. G.
3. Verarbeitung des gesamten Stoffes durch die W. B. G.

Die Schrift ist nicht als das Werk eines Einzelnen aufzufassen, sondern stellt in idealer Weise eine Gemeinschaftsarbeit von Glashütten und der W. B. G. dar. Das Verdienst der Ingenieure im Außendienst der W. B. G., der Herren *Jochim* und *Metzger* ist anerkennend hervorzuheben. Sie bewältigten ihre Aufgaben, indem sie keine Mühe scheuten, um über zweifellos große Schwierigkeiten durch Ausdauer hinwegzukommen. Die Schriftleitung war unserem wissenschaftlichen Mitarbeiter, Herrn Dr.-Ing. W. *Friedmann* übertragen, der sich für die fachkundige Behandlung des Materials tatkräftig einsetzte.

Eine wesentliche Förderung erfuhren die Arbeiten durch die über Erwarten rege Beteiligung der Glashütten bei der Beantwortung der Umfrage, deren Ergebnisse ohne Angabe von Namen und Firmen in den der Schrift beigegebenen neun Zahlentafeln enthalten sind.

Bei der Abfassung wurde Wert darauf gelegt, strenge Sachlichkeit mit leicht verständlicher Form zu verbinden, um den Bedürfnissen des Glashüttenmannes entgegenzukommen. Der behandelte Stoff wurde deshalb auch auf das praktisch Bewährte beschränkt, ohne auf die zukünftige Entwicklung des Ofenbaues einzugehen.

Frankfurt a. M., Mai 1926.

Wärmetechnische Beratungstelle der deutschen Glasindustrie.
H. *Maurach*.

INHALT

I. Vorgänge beim Glasschmelzen im Hafenofen.

1. Kurze Uebersicht.

Im Schmelzofen wird das Glas aus seinen Rohstoffen erzeugt und in einen für die Verarbeitung geeigneten Zustand gebracht. Das Schmelzen im Hafenofen erfolgt periodisch. Nachdem der Ofen aufgeschürt, d. h. von der Arbeitstemperatur wieder auf die Schmelztemperatur gebracht ist, wird das Gemenge in die Häfen eingelegt und niedergeschmolzen. Nach zwei- oder mehrmaligem Einlegen und Niederschmelzen sind die Häfen mit flüssigem Glase gefüllt, welches aber noch nicht die erforderliche Reinheit hat. Durch Erhöhung der Temperatur und Durchmischung des Hafeninhalts, das sog. „Blasenlassen", wird das Glas geläutert und blank geschmolzen. Ist die Glasmasse genügend blasenfrei, so wird die Feuerung des Ofens abgestellt, um das Glas durch Abkühlung auf die für die Verarbeitung erforderliche Zähflüssigkeit zu bringen. Schließlich wird dann das Glas den Häfen zur Verarbeitung entnommen und zwar entweder mit der Pfeife, um geblasen zu werden, oder mit der Kelle, um gegossen zu werden, oder es wird der ganze Hafen aus dem Ofen genommen und ausgegossen. Die Dauer eines vollen Arbeits- oder Schmelzganges, d. h. die Zeit zwischen 2 auf einander folgenden Schmelzen beträgt bei Hohlglas und gegossenem Spiegelglas meist 24 Stunden, bei Tafelglas und geblasenem Spiegelglas meist 36 bis 42 Stunden, selten länger. Kürzere Periodendauer von 12 Stunden findet man nur vereinzelt bei der Erzeugung gegossenen Spiegelglases in Schmelzöfen von kleinen Abmessungen.

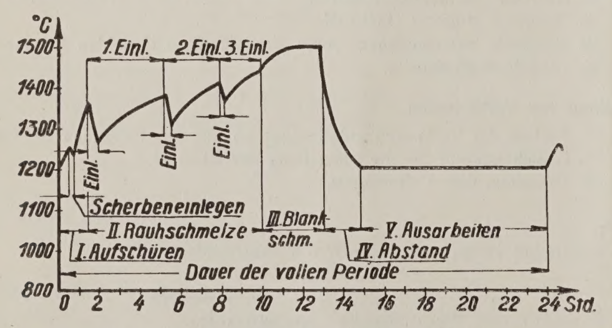


Abb. 1. Temperaturverlauf beim Schmelzen von Hohlglas.

Die Vorgänge bei der Erzeugung der verschiedenen Glasarten (Hohlglas, Tafelglas und Spiegelglas) verlaufen im wesentlichen gleichartig; Abweichungen sind bedingt durch verschiedene Zusammensetzung des Gemenges, verschieden großen Scherbenzusatz, verschieden hohe Anforderungen an die Glasqualität usw. Flaschenglas wird ausschließlich in Wannen erschmolzen und daher hier nicht weiter betrachtet.

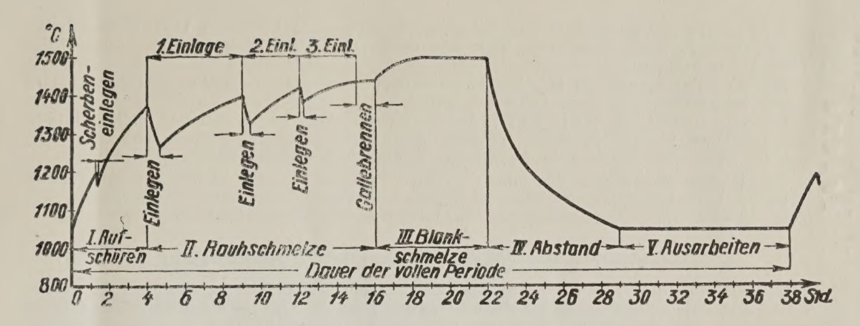


Abb. 2. Temperaturverlauf beim Schmelzen von Tafelglas.

Im folgenden sollen die einzelnen Phasen eines Schmelzganges für normale Verhältnisse vom wärme- und betriebstechnischen Standpunkt aus kurz besprochen werden; die chemischen Vorgänge sind in zahlreichen Veröffentlichungen der Fachliteratur behandelt.

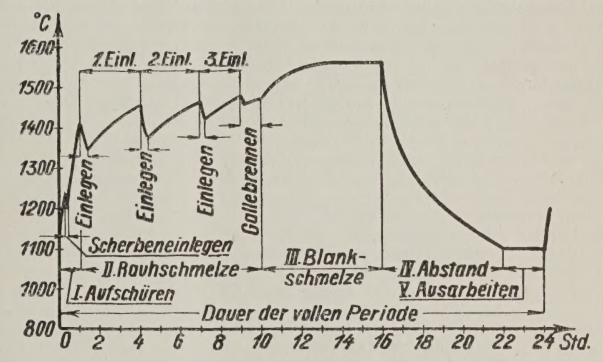


Abb. 3. Temperaturverlauf beim Schmelzen von Spiegelglas.

Ein Bild über den Verlauf der Vorgänge ergibt sich aus den Schaubildern in den Abb. 1, 2 u. 3, in welchen für Hohlglas, Tafelglas und gegossenes Spiegelglas der Verlauf der Temperaturen im Ofen während der einzelnen Abschnitte einer vollen Schmelzperiode für durchschnittliche Verhältnisse zeichnerisch dargestellt ist. Die Zahlenangaben in den folgenden Ausführungen und in den Abb. 1, 2 u. 3 stammen aus den Ergebnissen der Umfrage der W. B. G. und aus Untersuchungen ihrer Ingenieure in zahlreichen Glashütten.

2. Aufschüren des Ofens.

Nachdem das Glas aus den Häfen ausgearbeitet ist, muß der Ofen durch Zuführung von Wärme von der Arbeitstemperatur wieder auf die Schmelztemperatur gebracht werden, welche so hoch sein soll, daß trotz der durch das Einlegen bewirkten Abkühlung die Schmelze sofort beginnen kann. Gewöhnlich werden schon während des Aufschürens Scherben und Glasbrocken in die Häfen eingelegt, weil Glas schon bei niedrigeren Temperaturen flüssig wird als das Gemenge. Die Dauer des Aufschürens hängt von der Arbeitstemperatur und der Schärfe des Ofengangs ab.

Bei Hohlglas, welches mit ziemlich hoher Temperatur ausgearbeitet wird, genügen meist 1 bis 1½ Stunden, um von der Arbeitstemperatur von etwa 1150° bis 1250° C auf etwa 1350° C zu kommen.

T a f e l g l a s, welches bei Ofentemperaturen von etwa 1020° bis 1100° C verarbeitet wird, erfordert ein Aufschüren des Ofens von etwa 3½ bis 4½ Stunden, um ihn auf 1350° bis 1400° C zu bringen.

Bei g e b l a s e n e m S p i e g e l g l a s braucht man 4 bis 5 Stunden zum Aufheizen von 1050° bis 1100° C auf etwa 1380° bis 1400° C.

Bei g e g o s s e n e m S p i e g e l g l a s erfolgt das Aufschüren von der Gußtemperatur von rd. 1100° auf 1400° C in etwa 1 Stunde; der Ofen wird dabei entsprechend scharf getrieben, um einen vollen Gang in 24 Stunden durchführen zu können.

Ein richtiges Aufschüren des Ofens vor dem Einlegen ist sehr wichtig für die Qualität des Glases; voreiliges Einlegen rächt sich meist, während eine kurze Verlängerung der Aufschürzeit sich durch Verkürzung der Schmelzdauer leichter ausgleichen läßt.

3. Rauhschmelze (Niederschmelzen, Vorschmelze).

Das Einlegen des Gemenges und der Scherben in die Häfen erfolgt je nach der Größe der Einlage und den dazu benützten Einrichtungen in etwa 20 bis 35 Minuten. Das Einlegen soll unter Einsatz aller verfügbaren Kräfte in möglichst kurzer Zeit erfolgen, um die unvermeidliche Abkühlung des Ofens während des Einlegens möglichst gering zu halten. Bei Bütten- und Schlitzöfen wird das Gemenge gewöhnlich mit einer Kelle aus dem Trog in die Häfen eingeschaufelt. Bei großen Oberflammöfen hat man große Kellen, welche mit etwa 30 bis 50 kg Gemenge vollgeschaufelt und an einer pendelnden Fahrbahn zum Ofen gebracht werden. In neuzeitlich eingerichteten Hütten mit mehreren Oefen in einer Front erfolgt die Gemengeaufgabe auch mechanisch. Die Häfen werden gehäuft voll gelegt; da aber das Gemenge stark zusammenschmilzt, genügt eine Einlage nicht, um die Häfen vollzuschmelzen, sondern es müssen zwei oder mehrere Einlagen gemacht werden.

Bei H o h l g l a s dauert das Einbringen der ersten Einlage etwa 20 bis 25 Minuten, wobei die Temperatur um etwa 70 bis 90° C sinkt. Im Verlauf des Niederschmelzens steigt dann trotz des Wärmeverbrauchs der chemischen Reaktionen die Temperatur wieder langsam auf 1350 bis 1400° C an, da mit abnehmender Größe der Gemengehaufen die wärmeaufnehmende Fläche geringer wird. Die Dauer des Niederschmelzens der 1. Einlage ist abhängig von der Einstellung des Gemenges und der Temperaturen; nach etwa 3½ bis 4½ Stunden ist der Gemengekegel meist zum größten Teil niedergeschmolzen, worauf die zweite, etwas kleinere Gemengeeinlage erfolgt. Sie dauert etwa 15 bis 20 Minuten, wobei die Temperatur um etwa 40 bis 50° C zurückgeht, um im Verlauf des 1½ bis 2½ Stunden erfordernden Niederschmelzens wieder langsam auf etwa 1400 bis 1420° C zu steigen. Eine dritte Gemengeeinlage ist bei Hohlglas meist nicht erforderlich, sondern es werden die Häfen mit Scherben und Brocken aufgefüllt.

Bei T a f e l g l a s erfordert das Einbringen der 1. Einlage etwa 25 bis 35 Minuten, da meist beträchtliche Mengen auf einmal eingelegt werden. Entsprechend sinkt auch die Temperatur verhältnismäßig stark um etwa 100° C; der Ofen muß daher vorher genügend heiß sein, damit kein Zeitverlust in der Schmelze durch zu starke Abkühlung beim Einlegen eintritt. Keinesfalls soll die Ofentemperatur nach Beendigung der Einlage unter 1300° C sein. Das Niederschmelzen der 1. Einlage dauert etwa 4½ bis 5½ Stunden, wobei die Temperatur langsam wieder auf etwa 1400° steigt. Die zweite, kleinere Einlage ruft eine Temperaturerniedrigung um etwa 40 bis 60° C hervor und braucht etwa 3½ bis 4½ Stunden zum Niederschmelzen. Dabei steigt die Temperatur wieder langsam auf etwa 1400 bis 1430° C. Meist ist eine 3. Einlage erforderlich, welche 2½ bis 3½ Stunden zum Schmelzen braucht, seltener eine 4. Einlage.

Bei g e b l a s e n e m S p i e g e l g l a s liegen die Verhältnisse ungefähr so wie bei Tafelglas.

Bei g e g o s s e n e m S p i e g e l g l a s sind 1. und 2. Einlage meist etwa gleich groß und brauchen je etwa 3 Stunden zum Niederschmelzen. Die beim Einlegen um etwa 70 bis 90° C abnehmende Ofentemperatur steigt wieder langsam auf etwa 1420 bis 1450° C. Die 3. Einlage erfordert etwa 2 bis 3 Stunden zum Schmelzen, wobei die Temperatur von etwa 1400 auf 1450° bis 1460° C steigt.

Die gesamte Dauer der Rauhschmelze beträgt bei Hohlglas meist etwa 8 bis 10 Stunden, bei Tafelglas 13 bis 16 Stunden, bei Spiegelglas 9 bis 11 Stunden. In den wenigen Fällen, bei welchen zweimal im Tage gegossen wird, muß die Rauhschmelze in 5 bis 6 Stunden beendigt sein.

Während der Rauhschmelze treten jene chemischen Reaktionen zwischen den einzelnen Gemengebestandteilen auf, durch welche aus dem Gemenge das Glas entsteht. Darüber ist in der chemischen Literatur näheres zu finden.

Wird dem Gemenge Glaubersalz (Natriumsulfat) als Flußmittel beigegeben, so ist außer dem Zusatz an sog. „Schmelzkohle“ noch ein Abbrennen unzersetzten Glaubersalzes, der „Glasgalle“ z. B. durch Aufstreuen von Koksgrus, Holzstückchen oder reduzierendes, d. h. mit Gasüberschuß eingestelltes Feuer erforderlich, um Gallflecken und Gallblasen zu vermeiden. Größere Mengen Glasgalle können durch Abschöpfen (Abfeimen) entfernt werden.

Bei Tafelglas und gegossenem Spiegelglas, welche mit Glaubersalz erschmolzen werden, dauert das Gallebrennen bei einer Temperatur von etwa 1420 bis 1460° C ungefähr ½ Stunde.

Nach Beendigung der Rauhschmelze bezw. nach dem Gallebrennen ist der chemische Prozeß der Glasbildung beendet, und es kann die Läuterung beginnen.

4. Läuterung. (Blankschmelze, Feinschmelze, Affinage).

Die Läuterung hat in erster Linie den Zweck, die in der vorgeschmolzenen Glasmasse noch befindlichen, aus der Zersetzung der Rohstoffe herrührenden Gasblasen zu entfernen. Hierzu muß das Glas eine gewisse Dünnflüssigkeit besitzen, welche durch Erhöhung der Temperatur erreicht wird. Dabei kann aber trotzdem mit der Gaszufuhr allmählich zurückgegangen werden, da kein Wärmebedarf für chemische Reaktionen mehr vorliegt, sondern nach Erreichen der erforderlichen Temperatur nur die Abkühlungsverluste der Ofenwände ersetzt werden müssen. Uebermäßige Temperaturerhöhung gefährdet Oefen und insbesondere die Häfen, da der Druck des Glases auf die Hafenwände mit der Dünnflüssigkeit und daher auch mit der Temperatur steigt. Außerdem tritt bei zu hoher Temperatur eine stärkere Verdampfung der Alkalien und anderer Glasbestandteile ein, wodurch die Zusammensetzung des Glases verändert wird. Schließlich erfolgt auch die Auflösung der Hafenmasse und ihr Uebergang ins Glas in beschleunigtem Maße.

Das Austreiben der Gasblasen aus der flüssigen Glasmasse wird unterstützt durch das sog. „Blasenlassen“ oder „Bülwern“: Ein Stück nasses Hartholz oder eine Kartoffel wird in die Glasmasse getaucht; die plötzliche Dampfentwicklung bringt die Glasmasse in lebhafte Wallung und erleichtert das Austreten der Gasblasen. Das Bülwern wird häufig zwei- bis dreimal wiederholt, wobei man zuletzt oft größere Stücke von Arsenik verwendet.

Bei Beginn der Blankschmelze bedeckt sich der ganze Glasspiegel mit etwa erbsengroßen Blasen, welche im Verlauf der Läuterung immer seltener und etwas kleiner werden. Es ist wichtig, die Blankschmelze so zu leiten, daß die Bläschen nicht zu klein werden, da sie dann schwer herauszubringen sind und das Glas gispig wird. An der mit einem Eisenstab herausgezogenen Glasprobe sieht der Schmelzer, ob das Glas genügend blasenfrei ist. Ist dieser Zustand erreicht, so kann der Ofen abgestellt werden.

Dauer und Temperaturen der Blankschmelze hängen von der Art des Glases und dem erforderlichen Reinheitsgrad ab.

Bei H o h l g l a s dauert die Läuterung etwa 2½ bis 3½ Stunden, wenn die Rauhschmelze gut vorangegangen ist. Die Ofentemperaturen während des Blankschmelzens liegen meist zwischen 1420 und 1480° C.

Bei T a f e l g l a s werden höhere Ansprüche an die Reinheit gestellt. Die Blankschmelze dauert daher meist 5½ bis 6½ Stunden, u. U. auch 8 bis 10 Stunden; der Ofen darf nicht abgestellt werden, bevor das Glas die erforderliche Blasenfreiheit erhalten hat. Der Beginn des Ausarbeitens muß sich nach der Schmelze richten. Die bei der Blankschmelze des Tafelglases auftretenden Ofentemperaturen betragen etwa 1450 bis 1500° C und bedingen eine erhebliche Beanspruchung der Häfen.

Noch größere Anforderungen werden an die Reinheit bei S p i e g e l g l a s gestellt, sowohl hinsichtlich der Blasenfreiheit als auch der Homogenität. Die Dauer der Blankschmelze beträgt bei geblasenem Spiegelglas meist 6 bis 7 Stunden und bei Temperaturen von 1450 bis 1520° C. Bei g e g o s s e n e m S p i e g e l g l a s findet man meist Temperaturen von 1500 bis 1550° C.

5. Abstehen. (Abgehenlassen).

Um das Glas auf die für die Verarbeitung erforderliche Zähflüssigkeit zu bringen, muß seine Temperatur vermindert werden. Zu diesem Zweck wird die Wärmezufuhr unterbrochen und die Arbeitslöcher werden geöffnet, um die Abkühlung zu beschleunigen. Eine weitergehende Beschleunigung des Abstandes z. B. durch Ziehen der Esseschieber oder künstliche Kühlung darf nur mit besonderer Vorsicht vorgenommen werden, da das Glas wegen seiner geringen Wärmeleitfähigkeit dabei an der Oberfläche stark abkühlt und am

Spiegel eine Haut erhält. Die Dauer des Abstehenlassens ist abhängig von dem erforderlichen Unterschied zwischen der Temperatur am Ende der Blankschmelze und beim Ausarbeiten. Die Abkühlungsgeschwindigkeit sinkt mit abnehmender Temperatur.

Bei Hohlglas schwankt die Verarbeitungstemperatur in ziemlich weiten Grenzen zwischen etwa 1150 und 1250° C. Das Abstehen dauert entsprechend 1 bis 3 Stunden.

Bei Tafelglas dauert der Abstand etwa 6 bis 7 Stunden, da das Glas von etwa 1480 bis 1500° auf 1000 bis 1100° C abgekühlt werden muß.

Spiegelglas muß etwa 6 bis 9 Stunden abstehen, um von 1500 bis 1550° C auf die Gußtemperatur von rd. 1100° C zu gelangen.

6. Ausarbeiten.

Mit dem Ausarbeiten des Glases aus den Häfen wird begonnen, sobald das Glas die verlangte Zähflüssigkeit erreicht hat. Beim Ausarbeiten von Hohlglas, Tafelglas und geblasenem Spiegelglas mit der Pfeife wird dem Ofen soviel Wärme zugeführt, daß die Verarbeitungstemperatur möglichst konstant eingehalten wird. Meist wird dabei etwa alle Viertelstunde regelmäßig gewechselt; größere Dauer der Umsteuerperioden zieht stärkere Schwankungen in den Verarbeitungstemperaturen nach sich. Vereinzelt wird auch der Ofen während des Ausarbeitens auf Konstantstellung gebracht, wobei das Feuer an beiden Ofenseiten gleichzeitig in den Ofen brennt. Die Wechselorgane werden dabei auf Mitte gestellt und die Esse vom Ofen abgesperrt. Diese Arbeitsweise sollte aber nur dort durchgeführt werden, wo für die Abführung der Abgase ein besonderer Konstantkanal mit Schieber vorhanden ist. (Vergl. Abschn. II/11.)

Bei Hohlglas dauert das Ausarbeiten meist 8 bis 10 Stunden, bei Tafelglas 8 bis 12 Stunden, bei geblasenem Spiegelglas braucht man 12 bis 14 Stunden. Der Guß bei gegossenem Spiegelglas dauert durchschnittlich 2 Stunden, indem rd. alle 7½ Minuten ein Hafen des meist 16 häfigen Ofens vergossen wird. Nach dem Vergießen einiger Häfen erhält der Ofen bereits Wärmfeuer.

II. Gebräuchlichste Bauarten der Regenerativ-Hafenöfen.

7. Einteilung nach der Brennerbauart.

Die Unterscheidung der Ofenbauarten erfolgt meist nach der Lage und Ausbildung der Brenner und zwar unterscheidet man:

a) Oefen mit Brennern im Herdboden (Vertikalbrennern): Büttenöfen und Schlitzöfen,

b) Oefen mit Brennern in den Wänden (Horizontalbrennern): Oberflammöfen.

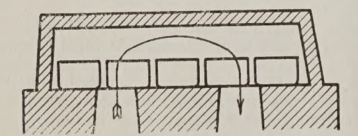


Abb. 4. Flammenweg bei Bütten- und Schlitzöfen.

In Abb. 4 und 5 sind die 3 Bauarten schematisch dargestellt.

Bei Bütten- und Schlitzöfen kommt die Flamme vertikal aus dem Boden, streicht in einem mehr oder minder ausgeprägten Bogen innerhalb des von den Häfen umschlossenen Raumes durch den Herd und zieht durch den zweiten Brenner wieder nach unten ab.

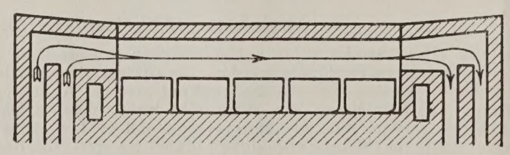


Abb. 5. Flammenweg bei Oberflammöfen.

Bei den Oberflammöfen wird die Flamme über den Häfen in angenähert horizontaler Richtung durch den Herd geführt.

Die besonderen Eigentümlichkeiten der verschiedenen Brennerbauarten sind in Abschnitt VIII/36, 37 u. 38 eingehend behandelt.

8. Vergleich zwischen Oberflammöfen einerseits, Bütten- und Schlitzöfen andererseits.

a) Wärmeübertragung.

Bei den Oberflammöfen erfolgt die Wärmeübertragung zum größten Teil unmittelbar von der Flamme auf den Glasspiegel hauptsächlich durch Strahlung, z. T. auch durch Berührung, sowie außerdem durch Rückstrahlung des von der Flamme erhitzten Gewölbes auf den Glasspiegel. Die tieferen Schichten des Hafeninhaltes erhalten Wärme nur durch Leitung vom Glasspiegel aus zugeführt.

Bei den Bütten- und Schlitzöfen hingegen findet eine unmittelbare Beheizung des Hafeninhaltes durch die Flamme in geringerem Maße statt, sondern es erfolgt die Beheizung hauptsächlich durch Rückstrahlung des von der Flamme erhitzten Gewölbes; außerdem wird Wärme durch die Hafenwände hindurchgeleitet, welche von der Flamme durch Strahlung und Berührung geheizt werden. Die Verteilung der übertragenen Wärme auf Strahlung des Gewölbes und Wärmeleitung durch die Hafenwände ist während der einzelnen Schmelzphasen verschieden groß; während der Phasen mit großem Wärmebedarf, also hauptsächlich bei der Rauh- und Blankschmelze, überwiegt der Anteil der Gewölbestrahlung bei weitem, da die starken Hafenwände nur eine geringe Wärmeleitfähigkeit haben. Um nennenswerte Wärmemengen durch die Häfen hindurch in das Glas leiten zu können, müßte die Außenfläche wesentlich heißer sein als die Innenfläche. Eine Nachrechnung ergibt, daß während der Schmelzperiode in der Hafenwand ein Temperaturgefälle von 120° bis 180° C vorhanden sein müßte, um ohne Strahlung des Gewölbes die bei der üblichen Belastung erforderliche Wärmemenge durch die Wand zu leiten, während andernfalls, bei Uebertragung der gesamten Wärmemenge durch Strahlung des Gewölbes allein, das Gewölbe nur etwa 25° bis 35° C heißer zu sein brauchte als der Glasspiegel.

Während der Phasen mit geringerem Wärmebedarf, insbesondere also beim Warmhalten während des Ausarbeitens wächst wahrscheinlich der verhältnismäßige Anteil der durch die Wand geleiteten Wärme.

Die hoch wirksame, unmittelbare Strahlung der Flamme auf das Glas ist nur beim Oberflammofen vorhanden und deshalb ist beim Schmelzen der Wirkungsgrad des Oberflammofens besser als der Wirkungsgrad der Bütten- und Schlitzöfen.

Ein Nachteil der Oberflammöfen aber ist der Mangel an „Grundhitze“. Es ist darunter die Wärme zu verstehen, welche nicht von oben, sondern durch die Wände hindurch von unten und den Seiten an das Glas übertragen wird. Während des Einschmelzens macht sich dieser Mangel nicht bemerkbar, hingegen aber hat das Fehlen der Grundhitze Schwierigkeiten beim Warmhalten in jenen Fällen zur Folge, wo längere Zeit hindurch aus den Häfen mit der Pfeife ausgearbeitet wird. Bedingt sind diese Schwierigkeiten hauptsächlich durch folgende zwei Umstände:

1. Die geringe Gasmenge, die für das Warmhalten erforderlich ist, ergibt bei guter Verbrennung eine kurze Flamme und infolgedessen schlechte Wärmeverteilung; man muß also, um eine alle Häfen deckende Flamme zu erzielen, mit Gasüberschuß arbeiten, was einerseits unwirtschaftlich ist, andererseits die Glasarbeiter an den Arbeitslöchern belästigt.

2. Die Strahlung des Gewölbes auf das Glas ist während des Warmhaltens nur kurze Zeit hindurch wirksam, da infolge der geringeren Beheizung und des verhältnismäßig großen Wärmeverlustes nach außen das Temperaturgefälle gegenüber dem Glasspiegel schnell abnimmt.

Die Schwierigkeiten beim Warmhalten, durch das Fehlen der Grundhitze bedingt, können sich beim Oberflammofen in einer Verschlechterung der Qualität des Glases auswirken, welche mit fortschreitendem Ausarbeiten immer stärker in Erscheinung tritt; das Glas wird sehr leicht windig.

Die Oberflammöfen sind also weniger geeignet für Fälle, wo längere Zeit hindurch mit der Pfeife aus den Häfen gearbeitet wird, sondern hauptsächlich dort, wo der Inhalt des Hafens auf einmal ausgegossen oder in kurzer Zeit ausgeschöpft wird.

Durch Anordnung sowohl von Horizontalbrennern als auch von Vertikalbrennern an einem Ofen könnten die Vorteile des Oberfeuers für die Schmelze und der Grundhitze

für das Ausarbeiten verbunden werden, indem beim Schmelzen mit den Horizontalbrennern, beim Ausarbeiten mit den Vertikalbrennern gefeuert wird. Diese Kombination wurde z. B. von Knoblauch in verhältnismäßig einfacher Weise konstruktiv gelöst.

b) Beanspruchung des Ofens und der Häfen.

Bei Bütten- und Schlitzöfen ist die Lebensdauer der Häfen und der Oefen unter sonst gleichen Verhältnissen im allgemeinen kürzer als bei Oberflammöfen. Die Häfen sind bei den Oberflammöfen der Flamme nur am oberen Rand zugekehrt, nicht aber an den großen Flächen der Seitenwände. Der schädliche Einfluß der Flamme auf die Häfen der Bütten- und Schlitzöfen zeigt sich deutlich an Scherben gebrochener Häfen: Die der Flamme zugekehrten Teile sind bei Gasüberschuß bis weit in das Innere hinein durchsetzt mit Kohlenstoffausscheidungen und zeigen eine mehr oder minder starke Lockerung des Gefüges, während die der Flamme abgewendeten Teile in Färbung und Gefüge weniger verändert sind.

Ein weiterer Grund für die Schonung der Häfen bei Oberflammöfen ist der, daß die Temperatur der Hafenwände geringer ist als bei den Bütten- und Schlitzöfen, insbesondere in den unteren Teilen der Häfen, an welchen die Beanspruchung der Wände wegen des größeren Flüssigkeitsdruckes des Glases höher ist als weiter oben.

Das Gewölbe wird bei den Oberflammöfen weniger stark beansprucht, weil die Flamme nicht wie bei Bütten- und Schlitzöfen steil auftrifft; daher fallen die nachteilige mechanische Wirkung sowie die den Wärmeübergang begünstigende Wirblung weg. Bei Bütten- und Schlitzöfen ist auch der Verschleiß der Brenner wesentlich stärker, da die Brenneröffnungen durch Herdglas oft auch chemisch stark beansprucht werden.

9. Vergleich zwischen Bütten- und Schlitzöfen.

a) Flammenverhältnisse.

In den Büttenbrennern erfolgt die Mischung von Gas und Luft teils durch Stoß teils durch Diffusion schon in der ganzen Länge des Brennerschachtes. (Vergl. Abschn. VIII/36.) Die Flamme tritt infolgedessen mehr oder minder stark entwickelt in den Herdraum.

Bei Schlitzöfen sind Gas- und Luftschichten in dem Brennerschacht durch Mauerzungen getrennt, sodaß Mischung und Verbrennung erst beim Eintritt in den Herdraum einsetzen. Der Ort der höchsten Temperaturen liegt daher in größerer Entfernung von der Brenneröffnung als bei Büttenöfen. Der Weg der Flamme im Herdraum ist bei Schlitzöfen größer als bei Büttenöfen, bei welchen ein Teil des Flammenwegs in den Eintrittsbrenner fällt. Bei Büttenöfen mit großer Herdfläche und Einstellung des für vollkommene Verbrennung erforderlichen Luftüberschusses nimmt deshalb die Temperatur vom Eintritts- bis zum Austrittsbrenner sehr schnell ab. Um bei Büttenöfen mit größerer Herdfläche den Ofen „mit Feuer zu füllen", muß man durch Verringerung der Luftmenge, u. U. durch Einstellung von Gasüberschuß, die Verbrennung verzögern, womit Abnahme der Verbrennungstemperatur und Erhöhung des spezifischen Wärmeverbrauchs verbunden sind.

Andererseits wird bei Schlitzöfen mit geringerer Herdfläche die Flamme am Austrittsbrenner häufig noch nicht ausgebrannt sein und in den Brenner, oft sogar in die Kammer hinunterreichen. Sowohl schneller Temperaturabfall als auch unvollkommene Verbrennung sind für den Hafenofenbetrieb ungünstig. Deshalb sind Büttenbrenner vorzugsweise für Oefen mit kleinerer Herdfläche, Schlitzbrenner hauptsächlich für Oefen mit größerer Herdfläche geeignet.

b) Beanspruchung des Ofens.

In der Beanspruchung der Häfen und der Gewölbe zeigen sich zwischen Bütten- und Schlitzöfen keine wesentlichen Unterschiede. Die Brenner hingegen leiden bei Büttenöfen durch die Flamme meist stärker als bei Schlitzöfen; bei Büttenöfen ist es besonders die eintretende Flamme, bei Schlitzöfen die unausgebrannt abziehende Flamme, welche die Brenner beschädigt. Durch entsprechende Einstellung des Luftüberschusses kann bei Schlitzöfen üblicher Größe eine vollkommene Verbrennung im Herdraum erzielt, sodaß die Brenner geschont werden; hingegen kann die Vorverbrennung in Büttenöfen nicht verhindert werden. Die Bütten brennen im Lauf der Betriebszeit oft zu förmlichen Kratern aus; die Flammenführung geht dadurch verloren, und die dem Büttenrand benachbarten Häfen sind gefährdet. Die schädliche Wirkung des Herdglases auf die Brenner ist Schlitz- und Büttenbrennern gemeinsam.

10. Verwendungsbereich der verschiedenen Ofenbauarten.

Der Verwendungsbereich der einzelnen Ofenbauarten geht aus den statistischen Erhebungen der W. B. G. hervor, welche in den Zahlentafeln I—IX, nach der Herdfläche geordnet, zusammengestellt sind.

Büttenöfen werden danach beinahe ausschließlich in der Hohlglasindustrie verwendet und zwar für Oefen von etwa 5—20 qm Herdfläche. Nur ganz vereinzelt werden auch kleine Tafelglasöfen mit Büttenbrennern ausgeführt.

Schlitzöfen werden sowohl für geblasenes Spiegelglas als auch für Tafelglas und für Hohlglas verwendet und haben meist Herdflächen von etwa 10—30 qm, sind im allgemeinen also größer als Büttenöfen aus den oben erörterten Gründen.

Oberflammöfen werden hauptsächlich in der Spiegelglasindustrie verwendet und zwar besonders für große Herdflächen von etwa 30 bis 50 qm. In Bayern findet man auch kleinere Oberflammöfen von etwa 10 bis 15 qm Herdfläche. Hohlglas und Tafelglas werden nur vereinzelt in Oberflammöfen geschmolzen.

Eine weitere Vergrößerung der Herdflächen von Hafenöfen der üblichen Bauart über etwa 50 qm hinaus wird durch die Schwierigkeiten, eine gleichmäßige Wärmeverteilung zu erzielen, behindert. Wie in Abschnitt VI/27 erwähnt, ist aber der Vielflammenofen von Knoblauch mit Querführung der Flammen geeignet, auch große Herdräume gleichmäßig zu beheizen.

Ein anderer Weg zur Vergrößerung der Herdflächen und damit zur Verbesserung des wärmetechnischen Wirkungsgrades liegt in dem Uebergang vom Hafenofen zum Wannenofen, welcher auch wegen der überragenden Vorteile der Kontinuität des Betriebs im Gegensatz zu der periodischen Betriebsweise des Hafenofens unaufhaltsam ist, abgesehen von jenen Fällen, in welchen nur kleine Mengen oder Qualitätsgläser geschmolzen werden sollen. (Farbgläser.)

11. Oefen mit „Konstantkanal".

Während das fertig geschmolzene und geläuterte Glas den Häfen entnommen wird, ist es wichtig, im Herdraum eine möglichst gleichmäßige Temperatur zu halten, wobei die zugeführte Wärme gerade die durch Abkühlung des Ofens entstehenden Wärmeverluste auszugleichen hat. Diese Bedingung gleichmäßiger Temperatur widerspricht der Eigenart des Wechselflammenverfahrens; oft sucht man durch Verringerung der Wechselperiodendauer die Ungleichmäßigkeiten zu mildern. In anderen Fällen wird während des Ausarbeitens nicht gewechselt, sondern der Ofen auf sog. „Konstantfeuerung" gestellt: Gas- und Luftwechsel werden in die Mittelstellung gebracht und die Abgasschieber geschlossen, sodaß durch beide Luftkammern Luft, durch beide Gaskammern Frischgas strömt und der Herdraum aus beiden Brennern gleichzeitig beheizt wird.

Oft läßt man die Abgase dabei durch die Arbeitslöcher in den Hüttenraum abziehen. Vorteilhafter aber ist die Abführung der Abgase durch einen besonderen „Konstantkanal", in welchen ein Schieber eingebaut ist, zur Esse. Die Arbeiter werden nicht wie beim Abzug der Abgase aus den Arbeitslöchern von den Abgasen belästigt, die Regelung der Druckverhältnisse im Herdraum wird erleichtert und die Ausnützung der Abgase in Abhitzanlagen ermöglicht.

Zum ersten Male verwendet wurde diese Anordnung bei dem besonders in Oesterreich verbreiteten „Siebert-Ofen"; zwischen den Häfen sind Abzugslöcher vorhanden, von welchen Kanäle zu dem an die Esse angeschlossenen unter der Luftkammer liegenden Konstantkanal führen, derart, daß die durch diese Kanäle strömenden Abgase ihre Wärme z. T. an die Luftkammern abgeben.

Die Abkühlung der Kammern während der Unterbrechung des Wechselns, welche die Aufheizung des Ofens vor dem nächsten Einlegen verzögert und unvollkommene Verbrennung infolge Luftmangel in den ersten Stunden der Schmelze zur Folge haben kann, ist beim Siebertofen ebenso wenig vermieden, wie bei Konstantstellung ohne Konstantkanal. Eine wärmetechnisch günstigere Lösung ist mit der von Knoblauch gebauten Umsteuervorrichtung (vergl. Abschn. IX/46) bei Kombination von Horizontal- und Vertikalbrennern möglich.

III. Beziehungen zwischen Größe, Leistung und Wärmeverbrauch der Hafenöfen.

12. Schmelzleistung.

Für die Beurteilung der Leistung einer Schmelzanlage als solcher kommt nicht das fertige, d. h. verkaufsfähige Glas in Betracht, sondern die aus dem Ofen entnommene, geschmolzene Menge; sie ergibt sich als Summe aus dem Fertigglas und den Abfällen bei der Bearbeitung. In den Zahlentafeln VII, VIII, IX sind die durch die Umfrage gewonnenen Zahlen für Fertigglas, Abfälle und geschmolzenes Glas zusammengestellt.

Das Verhältnis der Abfälle zum Fertigglas hängt von der Art und den Einrichtungen der Fabrikation ab. Aus den Zahlentafeln können die Werte nachgerechnet und mit den eigenen Ergebnissen verglichen werden.

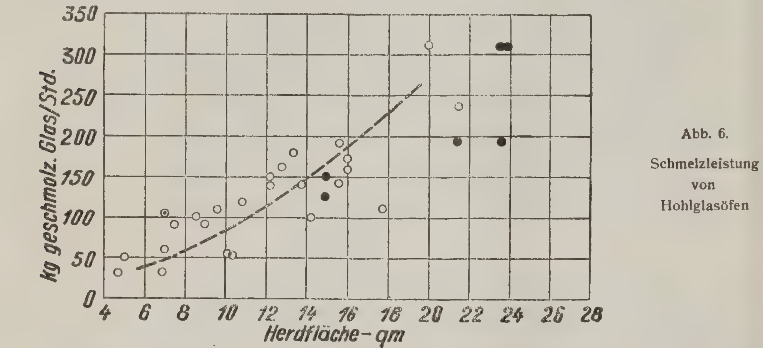


Abb. 6.
Schmelzleistung von Hohlglasöfen

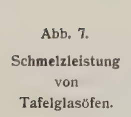
Die absoluten Werte der in einer Schmelze entnommenen Glasmengen liegen zwischen etwa 500 und 15 000 kg. Die durchschnittlich auf 1 Stunde der Gesamtdauer bezogenen geschmolzenen Mengen sind in Abb. 6, 7, 8 in Abhängigkeit von der Herdfläche eingetragen.

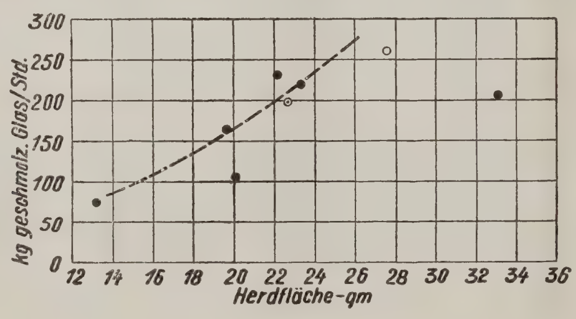
In den Abbildungen bedeuten allgemein: ○ Büttenöfen, ● Schlitzöfen, ⊙ Oberflammöfen.

Abb. 6 zeigt die durchschnittliche Schmelzleistung bei Hohlglas. Sie liegt zwischen etwa 30 und 300 kg/Std.

Abb. 7 zeigt die durchschnittliche Schmelzleistung bei Tafelglas. Sie liegt zwischen etwa 70 und 300 kg/Std.

Abb. 8 zeigt die durchschnittliche Schmelzleistung bei Spiegelglas. Sie liegt bei geblasenem Spiegelglas zwischen 50 und 150 kg/Std., bei gegossenem Spiegelglas zwischen 400 und 800 kg/Std.


Abb. 7.
Schmelzleistung von Tafelglasöfen.



Die starke Streuung der Punkte ist begreiflich; einmal ist die Leistungsfähigkeit der Oefen nicht überall in gleichem Maße ausgenützt; Zusammensetzung des Gemenges, verhältnismäßiger Scherbenzusatz, baulicher Zustand und Betriebsführung der Oefen sind sehr verschieden. Trotzdem geht die Tendenz in den Beziehungen zwischen Leistung und Ofengröße deutlich hervor, falls man einzelne, durch besondere Umstände stark abweichende Werte bei der Beurteilung außer Acht läßt. Die Tendenz dieser Beziehungen ist in den Abb. 6, 7, 8 durch Kurven dargestellt, welche mittlere Werte für die Schmelzleistung in einer Stunde angeben. Die Verwendung dieser Kurven zur Vorausberechnung der Oefen ist in Abschn. V an einem Beispiel gezeigt. Diese Linien sind nicht gerade, sondern konkav nach oben gekrümmt, d. h. die Schmelzleistung wächst mit zunehmender Herdfläche schneller.

Dieser zunächst auffallende Umstand kommt noch deutlicher zum Ausdruck in den Beziehungen zwischen Herdfläche und Schmelzleistung je qm Herdfläche, welche aus den Zahlentafeln VII, VIII, IX sowie aus den Abb. 9, 10 u. 11 ersichtlich sind.

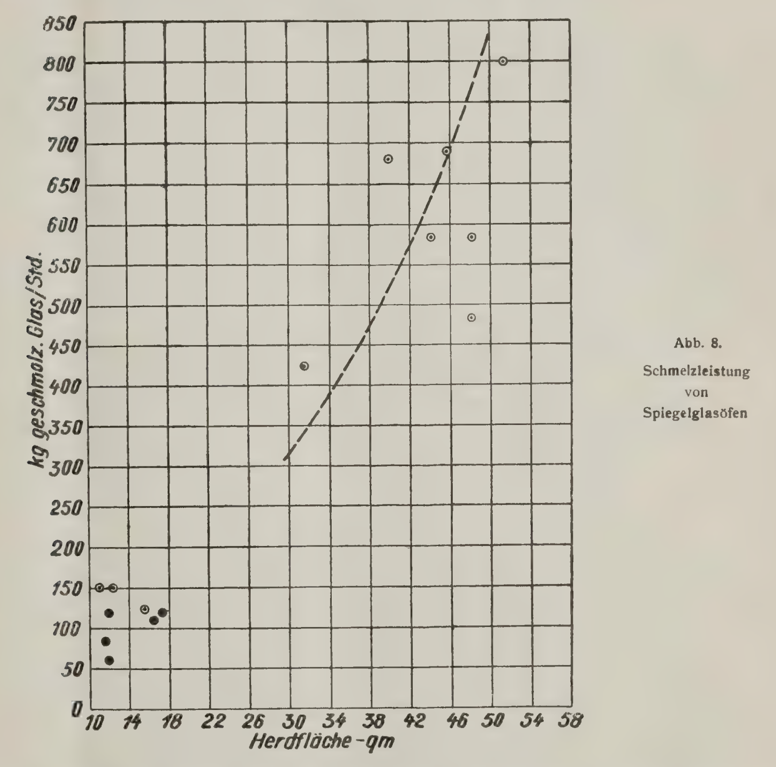


Abb. 8.
Schmelzleistung von Spiegelglasöfen

Abb. 9 zeigt die Abhängigkeit der spezifischen Schmelzleistung von der Herdfläche bei Hohlglasöfen, Abb. 10 bei Tafelglasöfen und Abb. 11 bei Spiegelglasöfen.

Für alle Arten der Oefen und der Glassorten ist das Ansteigen der spezifischen Schmelzleistung mit der Herdfläche deutlich erkennbar; die eingetragenen Kurven zeigen in kontinuierlich steigendem Verlauf durchschnittliche Werte. Dabei sind Punkte, welche durch besondere Umstände stark abweichen, wieder nicht berücksichtigt.

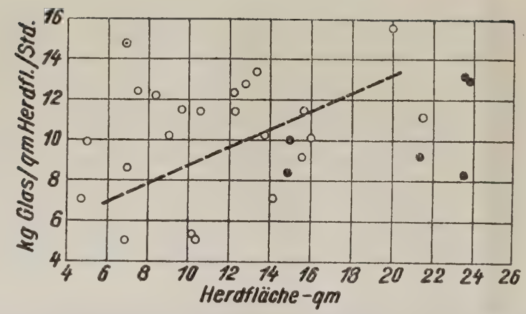


Abb. 9.
Spez. Schmelzleistung von Hohlglasöfen.

Die Kurven für die Beziehung zwischen Herdfläche und Schmelzleistung sind nicht willkürlich in die Punkthaufen hineingelegt, sondern aus den weiter unten besprochenen Beziehungen zwischen Wärmeverbrauch und Herdfläche abgeleitet, wie noch erörtert wird.

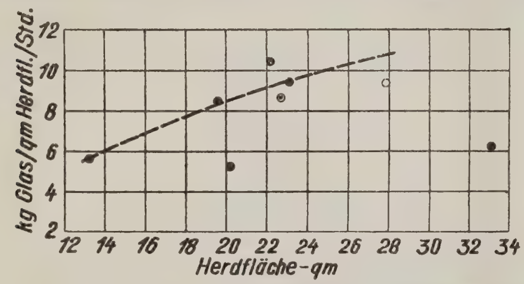


Abb. 10.
Spez. Schmelzleistung von Tafelglasöfen.

Für die Grenzen der gebräuchlichen Ofengrößen ergeben sich folgende normalen Werte der Schmelzleistung:

Für Hohlglas	bei 6 qm Herdfläche	rd. 7,0	kg Glas/qm Herdfläche/Std.
	„ 20 „ „	„ 13,2	„ „ „
Für Tafelglas	bei 14 qm Herdfläche	rd. 6,0	kg Glas/qm Herdfläche/Std.
	„ 28 „ „	„ 11,3	„ „ „
Für gegossenes Spiegelglas	b. 30 qm Herdfl.	rd. 10,4	kg Glas/qm Herdfläche/Std.
	b. 50 „ „	„ 16,7	„ „ „

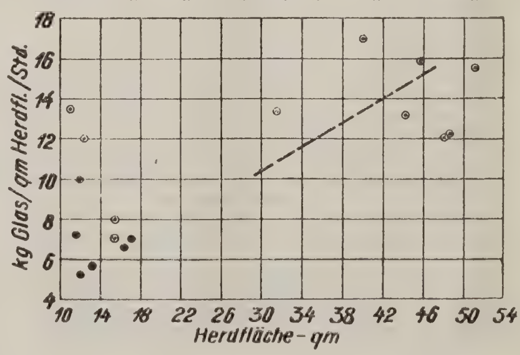


Abb. 11.
Spez. Schmelzleistung von Spiegelglasöfen.

Je größer der Ofen ist, desto mehr Glas kann also nicht nur absolut, sondern auch je qm Herdfläche unter sonst gleichen Verhältnissen erschmolzen werden. Diese, wie schon erwähnt, auffallende Erscheinung ist wärmetechnisch leicht zu begründen: die dem Ofen je qm Herdfläche zugeführte Wärmemenge ist nämlich nach den weiter unten folgenden Erörterungen im allgemeinen unabhängig von der Größe des Ofens; in großen Oefen wird unter sonst gleichen Verhältnissen je qm Herdfläche ebenso viel Wärme verbraucht wie in kleinen Oefen. Diese Wärmemenge wird z. T. für die Glaserzeugung nützlich verwendet, zum größeren Teil geht sie durch Abkühlung der Wände verloren. Da die Abkühlungsfläche des Ofens je qm Herdfläche aber mit wachsender Ofengröße sinkt, wie aus einfachen Beziehungen zwischen Flächeninhalt und Umfang geometrischer Figuren hervorgeht, so wird bei größeren Oefen der Anteil der Wandverluste geringer, die an das Glas übertragene Wärmemenge größer, d. h. die Schmelzleistung je qm Herdfläche steigt. Die Ausnutzung dieser Erkenntnis für die Berechnung der Ofengröße wird in Abschn. V/21 an einem Zahlenbeispiel erläutert.

13. Bedeutung der Wärmeverbrauchszahlen.

Die in den Zahlentafeln angegebenen Verbrauchszahlen je Schmelzgang umfassen den Bedarf für Aufheizen des Ofens vor dem Einlegen, für Rauhschmelze, Läuterung, Abstehen und Warmhalten während des Ausarbeitens bezw. für Anwärmen in Auftreiböfen oder Trommeln sowie für Kühlöfen bezw. Streck- und Kühlöfen. Durch Multiplikation dieser Zahlen mit dem unteren Heizwert des verwendeten Brennstoffs wurden dann die Werte für den Gesamtwärmeverbrauch je Schmelzgang in den Zahlentafeln VII, VIII u. IX berechnet. Die Division durch die Herdfläche, weiter durch die erzeugten Glasmengen, sowie durch die Zeit für einen vollen Schmelzgang ergibt die Zahlen für den spezifischen Wärmeverbrauch; davon interessieren besonders die spezifische Wärmebelastung des Ofens je qm Herdfläche und Stunde und der Wärmebedarf für 1 kg Glas.

Diese Zahlen geben in erster Linie einen Maßstab für die wärmetechnische Arbeitsweise der gesamten Anlage; sie sind abhängig sowohl von den verwendeten Betriebsmitteln, wie Generatoren, Schmelz- und Nebenöfen, als auch von den verwendeten Rohstoffen, wie Gemenge und Brennstoff und schließlich von der Art der Betriebsführung. Ein Wertvergleich für die Schmelzöfen allein kann deshalb aus diesen Zahlen nicht mit Sicherheit durchgeführt werden; insbesondere ist der Einfluß der Bauart oder der Führung einzelner Teile der Anlage oder der verwendeten Brennstoffart auf den Wärmeverbrauch daraus nicht zu erkennen. Für diesen Zweck sind genaue meßtechnische Untersuchungen und Berechnungen erforderlich, die von Fall zu Fall vorgenommen werden müssen. Trotzdem ergeben sich aber auch aus der die Gesamtheit der beeinflussenden Faktoren umfassenden Statistik interessante und für den Ofenbauer wertvolle Erkenntnisse, welche bis jetzt z. T. wohl qualitativ bekannt waren, durch die Statistik aber auch quantitativ wenigstens angenähert untersucht werden können.

14. Spezifische Wärmebelastung der Herdfläche.

Die je Stunde und je qm Herdfläche durchschnittlich verbrauchte Gesamtwärmemenge (Brennstoff-WE/qm/Std.), welche nach den weiter unten folgenden Erörterungen angenähert ebenso groß ist wie die in einer eigentlichen Schmelzstunde verbrauchte Brennstoffwärmemenge, ist in den Zahlentafeln VII, VIII, IX und in Abb. 12 in Abhängigkeit von der Herdfläche eingetragen. Diese Werte dürfen nicht verwechselt werden mit der von den Heizgasen auf den Herd tatsächlich übertragenen Wärmemenge, welche nur einen Bruchteil von dem Heizwert des zur Vergasung gelangenden Brennstoffs beträgt, je nach der Größe der Wärmeverluste bei der Vergasung und im Ofen.

Wie zu erwarten war, zeigen die Werte der spezifischen Wärmebelastung infolge der Verschiedenheit der beeinflussenden Faktoren eine starke Streuung; andererseits geht aber auch daraus hervor, daß eine gesetzmäßige Aenderung des Wärmeverbrauches je qm mit der Herdfläche nicht vorliegt; bei der großen Anzahl der zur Statistik herangezogenen Oefen müßte sich eine steigende oder fallende Tendenz abbilden. Es kann demnach geschlossen werden, daß der Wärmeverbrauch je qm Herdfläche im allgemeinen unabhängig von der Herdfläche ist, daß also unter sonst gleichen Verhältnissen ein großer Ofen je qm Herdfläche ebenso viel Wärme verbraucht als ein kleiner Ofen. Von den 52 statistisch bearbeiteten Hafenöfen verbrauchen 44, also über 80% der Oefen, zwischen 90 000 und 160 000 Brennstoff-WE/qm Herdfläche/Std. Die wenigen, aus diesen Grenzen nach oben

herausfallenden Werte sind entweder auf besonders unwirtschaftliche Vergasungsanlagen oder besondere Ueberbelastung des Ofens zurückzuführen, wobei z. B. bei der Erzeugung von Wirtschaftsartikeln auf die Qualität des Glases weniger Rücksicht genommen zu werden braucht; die im Wärmeverbrauch unterhalb des unteren Grenzwertes liegenden Zahlen beziehen sich auf Oefen mit schwacher Belastung und wirtschaftlich arbeitenden Drehrostgeneratoren. Als von der Ofengröße unabhängigen Mittelwert kann man etwa 125 000 Brennstoff-WE/qm Herdfläche/Std. annehmen.

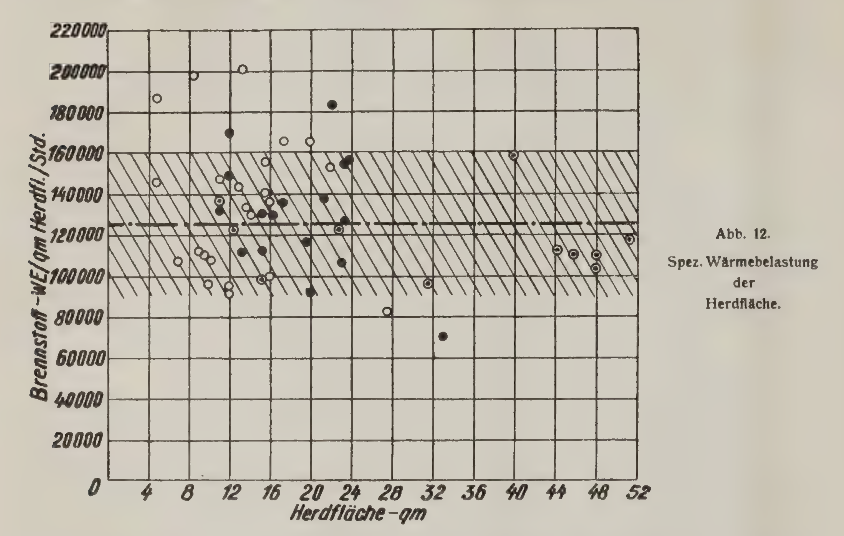


Abb. 12.
Spez. Wärmebelastung der Herdfläche.

Bei der Beurteilung ist zu berücksichtigen, daß in Oefen, welche von alten Generatoren mit natürlichem Zug begast werden, also hauptsächlich in Hohlglasöfen, nur ein geringerer Teil des Brennstoffheizwertes in den Ofen gelangt als bei Vergasung in geblasenen Generatoren. Bei der Umrechnung auf geblasene Generatoren werden daher die oben angegebenen Zahlen bei jenen Oefen, welche mit Generatoren mit natürlichem Zug arbeiten, mit dem Verhältnis der Generatorwirkungsgrade zu multiplizieren sein, welches etwa mit 50 : 70 angenommen werden kann.

Die Unabhängigkeit der Wärmebelastung je qm Herdfläche von der Ofengröße kann dadurch erklärt werden, daß die Flamme im Ofen je qm ihrer Strahlungsfläche bei gleicher Temperatur ungefähr gleich viel Wärme abgibt. Es mag aber offen zugegeben werden, daß die Konstanz der Wärmebelastung je qm weder auf Grund der Statistik noch auf Grund dieser wärmetechnischen Erklärung mit der den obigen Ausführungen innewohnenden Bestimmtheit behauptet würde, wenn nicht durch die Statistik und die meßtechnischen Feststellungen an einer größeren Anzahl von Tafelglaswannen sich eine ganz auffallende Gleichheit der spezifischen Wärmebelastung der Herdfläche für Wannen verschiedener Größe ergeben hätte, welche zwischen den Grenzwerten von 55 000 und 65 000 Brennstoff-WE/qm Herdfläche/Std. liegt. Da der beheizte Raum bei Wannen ungefähr die Hälfte der ganzen Wanne beträgt, so kommt man bei Bezug auf die beheizte Fläche auf 110 000 bis 130 000 WE, Werte, welche innerhalb der Grenzen der für Hafenöfen angegebenen Zahlen liegen und sich deren Mittelwert von 125 000 WE verblüffend nähern. Da bei Wannenöfen die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den einzelnen Größen wegen der Konstanz der Betriebsverhältnisse viel deutlicher zum Ausdruck kommen als bei Hafenöfen, und die Uebereinstimmung zwischen den gefundenen Werten bei der großen Anzahl der Untersuchungen nicht als auf Zufall beruhend angenommen werden kann, so dürfte die Richtigkeit des Schlusses auf Unabhängigkeit der spezifischen Wärmebelastung von der Größe des Ofens kaum bezweifelt werden können.

15. Gesamtwärmeverbrauch für 1 kg Glas.

a) Abhängigkeit des Wärmeverbrauchs von der Ofengröße.

Der gebräuchlichste Maßstab für die Wirtschaftlichkeit bei der Glaserzeugung ergibt sich, wenn man den gesamten Wärmebedarf für eine bestimmte Zeit durch die in dieser Zeit erzeugte und dem Ofen entnommene Glasmenge dividiert. Dabei interessiert besonders die Abhängigkeit dieses spezifischen Wärmeverbrauchs von der Größe und von der Belastung des Ofens. Die Abhängigkeit des Wärmebedarfs von der Ofengröße ist in den Zahlentafeln VII, VIII u. IX und in den Abb. 13, 14 u. 15 ist der spezifische Wärmeverbrauch je kg Glas in Abhängigkeit von der Herdfläche eingetragen.

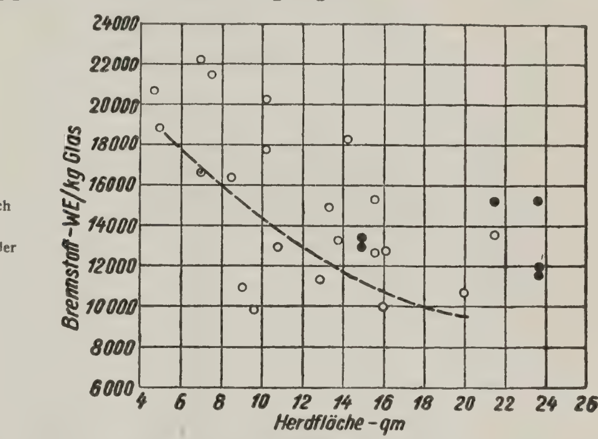


Abb. 13.
Spez. Wärmeverbrauch für Hohlglas in Abhängigkeit von der Herdfläche.

In die Schaubilder sind auch Kurven für durchschnittliche Werte eingezeichnet, wobei wiederum vereinzelte durch besondere Umstände ausfallende Punkte der Statistik nicht berücksichtigt sind.

Abb. 13 zeigt den Wärmebedarf für Hohlglas. Aus der Durchschnittskurve ergeben sich folgende Grenzwerte:

Bei 6 qm Herdfläche sind rd. 18 000 Brennstoff-WE/kg Hohlglas erforderlich.
„ 20 „ „ „ „ 9 500 „ „ „

Abb. 14 zeigt den Wärmebedarf für Tafelglas. Aus der Durchschnittskurve ergibt sich:

Bei 14 qm Herdfläche sind rd. 20 000 Brennstoff-WE/kg Tafelglas erforderlich.
„ 30 „ „ „ „ 11 000 „ „ „

Abb. 15 zeigt den Wärmebedarf für Spiegelglas. Die Werte für geblasenes und gegossenes Spiegelglas liegen stark auseinander, wobei auffällt, daß bei Schlitzöfen für geblasenes Glas der Verbrauch außerordentlich viel höher ist als bei Oberflammöfen für gegossenes Glas, welche nur 10 000 bis 12 000 WE/kg brauchen gegenüber 17 000 bis 28 000 WE bei den Schlitzöfen. Dabei ist allerdings noch zu berücksichtigen, daß bei den erwähnten kleinen Oberflammöfen in besonders flachen Häfen mit etwa 30 cm Höhe geschmolzen wird. Außerdem ist die Betriebsführung an diesen Oefen besonders hochstehend. Bei den großen Spiegelglasöfen für gegossenes Glas ergeben sich aus der Durchschnittskurve die folgenden mittleren Werte:

Bei 30 qm Herdfläche sind rd. 12 000 Brennstoff-WE/kg Spiegelglas erforderlich.
„ 50 „ „ „ „ 7 500 „ „ „

Die außerordentlich starke Abhängigkeit des Brennstoffbedarfs für 1 kg Glas von der Größe des Ofens prägt sich in diesen Zahlen eindringlich aus. Eine Beurteilung des Wärmeverbrauchs ohne Rücksicht auf die Ofengröße gibt daher ein ganz falsches Bild von der wärmetechnischen Beschaffenheit der Schmelzanlage.

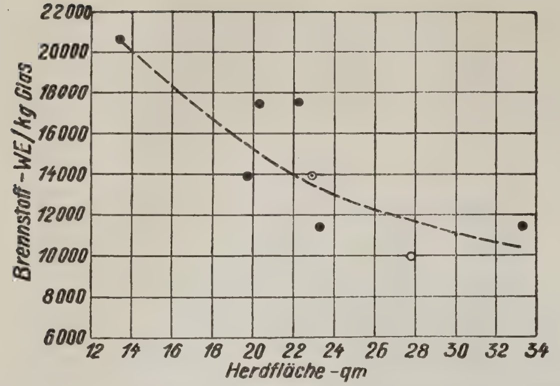


Abb. 14.

Spez. Wärmeverbrauch für Tafelglas in Abhängigkeit von der Herdfläche.

Die im Vorstehenden angegebenen Wärmeverbrauchszahlen für 1 kg Glas geben Werte an, welche unter normalen Verhältnissen bei voller Belastung des Ofens durchschnittlich erzielt werden. Einzelne Hütten haben wesentlich geringere Verbrauchszahlen erreicht. Durch bauliche oder betriebliche Mittel die wärmetechnische Güte ihrer Schmelzanlage zu vervollkommnen, um den Wärmeverbrauch unter diese Durchschnittszahlen zu senken, muß auch das Bestreben aller anderen Hütten sein. Ergibt sich ein größerer Wärmeverbrauch als den angegebenen Durchschnittswerten entspricht, so ist es selbstverständlich, daß der Ofen auf Fehler im Bau oder in der Betriebsweise zu untersuchen ist, soweit nicht besondere Verhältnisse den Mehrverbrauch rechtfertigen.

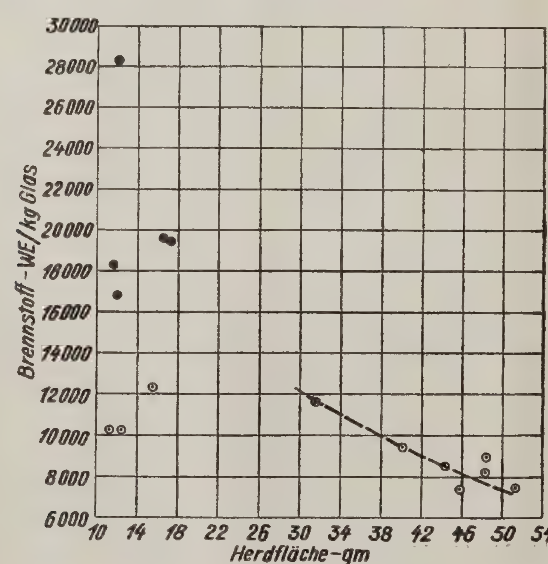


Abb. 15.

Spez. Wärmeverbrauch für Spiegelglas in Abhängigkeit von der Herdfläche.

b) Abhängigkeit des Wärmebedarfs von der spezifischen Schmelzleistung des Ofens.

In Abb. 16 ist der Wärmeverbrauch in Brennstoff-WE/kg Glas in Abhängigkeit von der Belastung des Ofens in kg Glas/qm Herdfläche/Std. graphisch dargestellt. In die den Werten der Zahlentafel entsprechenden Punkthaufen ist eine Kurve eingezeichnet, welche normale Durchschnittswerte angibt. Die Kurve folgt der Tendenz der Aenderung nicht nach Gefühl, sondern ist abgeleitet aus der Beziehung zwischen spezifischem Wärmeverbrauch und Herdfläche. (Vergl. Abb. 12.)

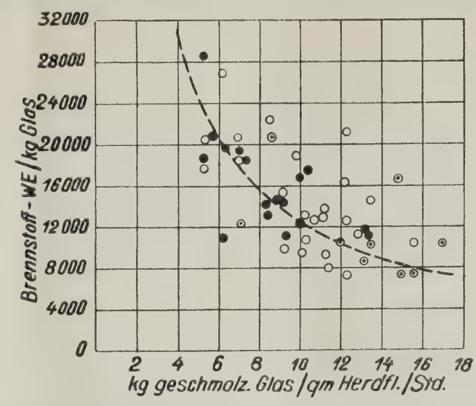


Abb. 16.

Spez. Wärmeverbrauch in Abhängigkeit von der spez. Schmelzleistung

Wie bereits erörtert, kann durchschnittlich mit einem Brennstoffwärmeverbrauch von rd. 125 000 WE/qm Herdfläche/Std. unabhängig von der Ofengröße gerechnet werden. Der Wärmeverbrauch für 1 kg Glas in Abhängigkeit von der Schmelzleistung je qm ergibt sich daher durch Division von 125 000 mit dieser spezifischen Schmelzleistung; er beträgt z. B. bei einer Belastung der Herdfläche von 10 kg Glas/qm/Std.:

125 000 : 10 = 12 500 Brennstoff-WE/kg Glas.

Die so berechnete Kurve, welche geometrisch als gleichseitige Hyperbel definiert ist, zeigt deutlich, wie der Brennstoffverbrauch je kg Glas abnimmt mit der Größe der Glasausbeute je qm Herdfläche, eine Folge der konstanten Wärmebelastung je qm Herdfläche.

c) Wärmebedarf für 1 kg Glas bei Teilbelastung des Ofens.

Die durch die Kurven in den Abb. 13 bis 16 als normale Werte gekennzeichneten Wärmeverbrauchszahlen beziehen sich auf volle Belastung des Ofens.

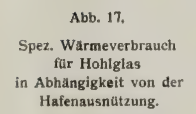
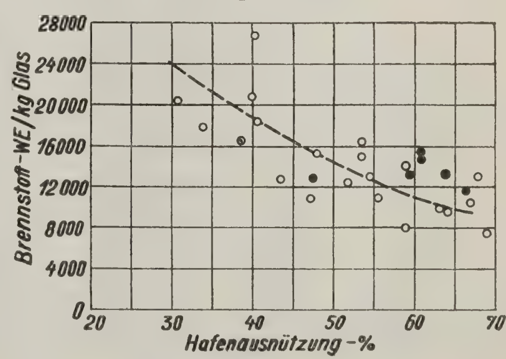


Abb. 17.

Spez. Wärmeverbrauch für Hohlglas in Abhängigkeit von der Hafenausnützung.



Bei Teilbelastung, d. h. wenn den Häfen weniger Glas entnommen wird als möglich ist, steigt der Wärmeverbrauch für 1 kg Glas. Diese aus dem Maschinenbau längst bekannte Erscheinung der Verringerung des Wirkungsgrades mit abnehmender Belastung tritt bei den Schmelzöfen besonders deutlich hervor, dadurch, daß das Verhältnis der eigentlichen Nutzwärme zum Gesamtwärmeverbrauch sehr gering ist; der größte Teil der zugeführten Wärme wird benötigt, um die Wärmeverluste der Ofenwände zu decken. Der größere Wärmebedarf in der Schmelzperiode gegenüber den anderen Perioden (Abstehen, Warmhalten usw.) ist weniger auf den Energiebedarf der chemischen Reaktionen bei der Glaserzeugung zurückzuführen, als darauf, daß die Wandverluste mit wachsender Temperatur stark ansteigen.

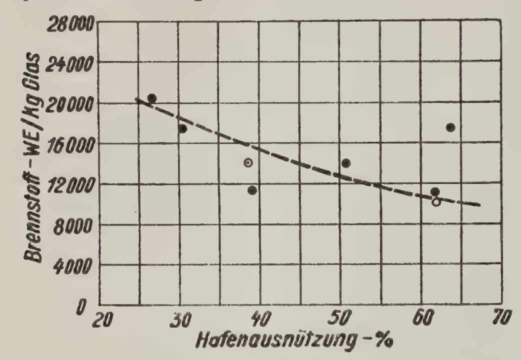


Abb. 18.

Spez. Wärmeverbrauch für Tafelglas in Abhängigkeit von der Hafenausnützung

Aus der Statistik ist die Zunahme des Wärmebedarfs bei Teilbelastungen quantitativ nicht klar zu erkennen, weil ja noch zahlreiche andere Faktoren den Wärmebedarf beeinflussen.

Qualitativ geht diese Erscheinung aus der Beziehung zwischen dem Ausnützungsfaktor der Häfen, d. i. das Verhältnis der den Häfen entnommenen Glasmengen zu dem theoretischen Fassungsvermögen der Häfen zu dem Wärmeverbrauch für 1 kg Glas hervor. In den Abb. 17, 18 u. 19 sind diese Beziehungen für Hohlglas, Tafelglas und Spiegelglas getrennt aus den Zahlentafeln eingetragen und mittlere Kurven zur Verdeutlichung der absteigenden Tendenz eingezeichnet.

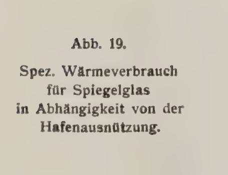
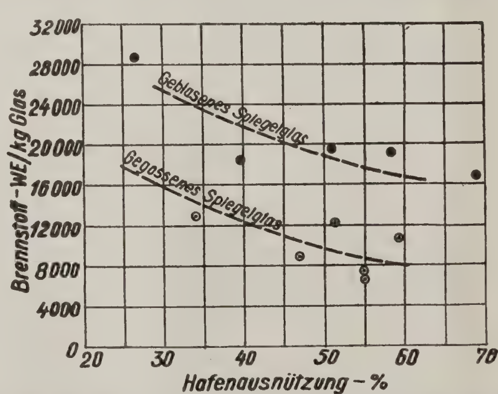


Abb. 19.

Spez. Wärmeverbrauch für Spiegelglas in Abhängigkeit von der Hafenausnützung.



Aus Untersuchungen und Berechnungen der W. B. G. und statistischen Aufzeichnungen einzelner Hütten geht die Beziehung zwischen Wärmeverbrauch und Belastung zahlenmäßig

deutlicher hervor. Als durchschnittliche Anhaltszahlen kann man annehmen, daß bei einer Belastung von 50% der Brennstoffverbrauch etwa 80% des Verbrauchs bei voller Belastung beträgt. Bei einer Belastung von 25% beträgt der Verbrauch etwa 70% desjenigen bei voller Belastung. Bei halber Belastung wird der Wärmeverbrauch für 1 kg Glas demnach das 0,80 : 0,50 = 1,6 fache, bei Viertelbelastung das 0,70 : 0,25 = 2,8 fache des Verbrauchs bei voller Belastung betragen.

Abb. 20 zeigt das außerordentlich starke Anwachsen des Wärmeverbrauchs für 1 kg Glas bei Teilbelastungen in dem steilen Verlauf der Kurve.

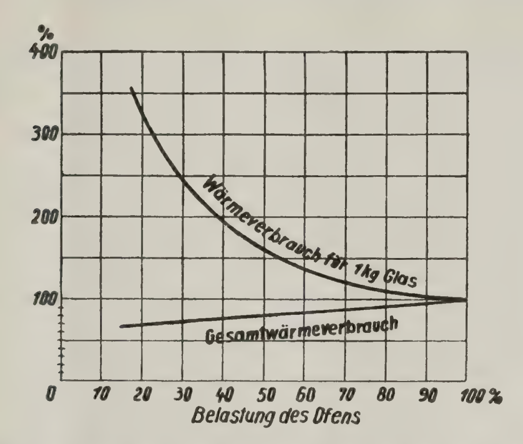


Abb. 20.
Wärmeverbrauch bei Teilbelastung des Ofens.

Bei Steigerung der Belastung über das normale Maß hinaus ist das Verhalten des Wärmebedarfs aus den bisherigen Beobachtungen nicht zu erkennen. Bei Maschinen steigt bekanntlich der spezifische Energieverbrauch bei Ueberbelastung, was allerdings darauf zurückzuführen ist, daß man dort als normale Belastung eben jene bezeichnet, bei welcher der Wirkungsgrad am höchsten ist. Bei Schmelzöfen aber ist jene Belastung als normal anzusehen, bei welcher die Bedingungen wirtschaftlichen Brennstoffverbrauchs als auch brauchbarer Glasqualität ohne übermäßige Abnützung des Ofens und der Häfen gleichzeitig erfüllt sind. Der Begriff der normalen Belastung ist also bei Schmelzöfen viel weniger eindeutig als bei Maschinen. Die Grenze der Belastung nach oben ist nicht durch die Abnahme des Wirkungsgrades, sondern meist durch Verschlechterung des Glases oder zu schnellen Verschleiß des feuerfesten Materials für Oefen und Häfen bedingt.

16. Schmelzwärmeverbrauch für 1 kg Glas.

Wie schon erwähnt, umfassen die in den Zahlentafeln und Kurven eingetragenen Werte den Gesamtverbrauch an Brennstoffwärme für Schmelzen, Warmhalten bezw. Anwärmen und Kühlen des Glases. Um einen genauen Einblick in die wärmetechnischen Verhältnisse dieser verschiedenen Abschnitte der Glaserzeugung zu gewinnen, insbesondere um die Arbeitsweise des Schmelzofens beurteilen zu können, wäre eine Trennung des Verbrauchs für diese einzelnen Abschnitte erforderlich. Eine solche zahlenmäßige Unterteilung wird aber nur selten durchgeführt, da in den meisten Hütten das Gas für die verschiedenen Oefen aus einem gemeinsamen Sammelkanal entnommen wird. Die Messung der von den einzelnen Oefen verbrauchten Gasmengen ist theoretisch wohl möglich, bietet aber praktisch meist erhebliche Schwierigkeiten. Eine teilweise Trennung der Verbrauchszahlen kann in einfacher Weise dort erfolgen, wo der Schmelzofen seine eigene Vergasungsanlage besitzt, was aber meist nur bei Wannen oder großen Spiegelglasöfen der Fall ist. Dort kann durch Zählung der Beschickungen ein angenähertes Bild des Kohlenverbrauchs in den einzelnen Phasen gewonnen werden. Ein solches Bild ist in der Schrift der W. B. G. „Gaserzeuger in Glashütten“ 1925, Abb. 8, dargestellt. Da zur Vergasung der Beschickung eine gewisse Zeit erforderlich ist, entspricht die Menge der Beschickung nicht genau dem

augenblicklichen Gasbedarf. Ein richtigeres Bild von der Veränderung des Gasbedarfs erhält man durch fortlaufende Messung der Windmenge für die Generatoren, da die Gasmenge der Windmenge mit starker Annäherung proportional ist und beide praktisch synchron verlaufen.

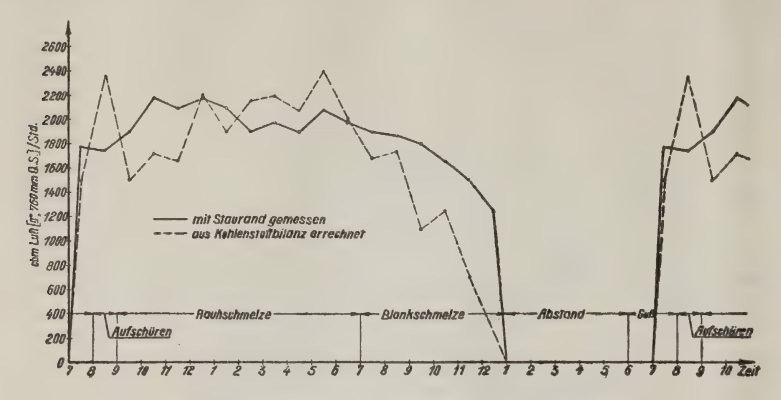


Abb. 21. Generatorwindmenge während einer Spiegelglasschmelze.

Abb. 21 zeigt aus der Untersuchungspraxis der W. B. G. ein Beispiel für den Verlauf des Windverbrauchs bei einem Spiegelglashafenofen und zwar sowohl die gemessenen Werte als auch die aus der Kohlenstoffbilanz errechneten.

Aus einer Anzahl solcher Versuche und statistischen Erhebungen in einzelnen Hütten ergibt sich, daß der Bedarf für das Schmelzen und Läutern als Teil des gesamten Wärmebedarfs sich für die einzelnen Fachgruppen in etwa folgenden Grenzen bewegt:

Schmelzwärmeverbrauch	für Hohlglas . . .	40—55%	des Gesamtwärmeverbrauchs
„	„ Tafelglas . . .	45—60%	„ „
„	„ Spiegelglas . .	55—70%	„ „

Die Zeit des größten Wärmebedarfs (Rauhschmelze und ein Teil der Feinschmelze) beträgt nach Abschnitt I/1:

bei Hohlglasöfen	etwa	11—13 Std.	bei einer Gesamtdauer von	24 Std.,
„ Tafelglasöfen	„	17—20 „	„ „ „ „	36—42 „
„ Spiegelglasöfen	„	16—17 „	„ „ „ „	24 Std. bezw.
		6—7 „	„ „ „ „	12 „

Das Verhältnis der Zeit des größten Wärmebedarfs beim Schmelzen zur Dauer eines vollen Ganges ist demnach mit großer Annäherung gleich dem Verhältnis des Wärmeverbrauchs für die Schmelze zum gesamten Wärmeverbrauch. Der Wärmebedarf des Schmelzofens in einer Schmelzstunde ergibt sich daher in angenähert gleicher Höhe wie der durchschnittliche Verbrauch an Gesamtwärme in einer Stunde der vollen Gangdauer. Das ist dadurch bedingt, daß der geringere stündliche Wärmeverbrauch des Schmelzofens während der Zeit, wo nicht geschmolzen wird, durch den Verbrauch der Anwärmöfen (Auftreib- bezw. Trommelöfen) sowie der Kühlöfen im Einfluß auf den stündlichen Durchschnittsverbrauch ungefähr ausgeglichen wird. Die in Abb. 12 eingetragenen Werte stellen demnach auch die spezifische Wärmebelastung der Herdfläche, d. i. den Bedarf an Brennstoffwärme je m² Herdfläche, in einer Schmelzstunde dar.

Wie im Vorhergehenden erörtert, liegt diese spezifische Wärmeleistung des Herdes, unabhängig von der Größe des Ofens, meist zwischen 90 000 und 160 000 Brennstoff-WE qm Herdfläche/Std.; als Mittelwert kann man mit etwa 125 000 WE rechnen.

IV. Häfen.

17. Form der Häfen.

Ueberwiegend werden oben offene Häfen verwendet; mit einer Haube überdeckte Häfen mit röhrenartiger Schnauze werden nur beim Schmelzen von Bleiglas, feinen Farbengläsern und feinerem Kristallglas verwendet, zum Schutz gegen Rauch, Flugasche und Schwefel.

Der Querschnitt der Häfen, welche während der Glasentnahme im Ofen stehen bleiben, ist beinahe ausschließlich kreisrund. Häfen mit quadratischem oder rechteckigem Querschnitt würden die Herdfläche wohl besser ausfüllen, und man könnte daher unter sonst gleichen Verhältnissen die Glasausbeute eines Ofens mit gegebener Herdfläche steigern, jedoch ist die Festigkeit ebener Wände wesentlich geringer als die zylindrische, sodaß mit Rücksicht auf die Lebensdauer der Häfen der Kreisquerschnitt der geeignetste ist.

Bei Häfen für gegossenes Spiegelglas findet man einen ovalen Querschnitt. Der Zweck dieser Form ist in erster Linie der, ebene Flächen für das Anpacken durch die Zangen beim Herausnehmen der Häfen aus dem Ofen zu schaffen. Durch die ovale Form wird außerdem die Ausnützung der Herdfläche verbessert, wobei allerdings wegen der geringeren Festigkeit der ebenen Wandteile die Gefahr des Hafenbruchs steigt. Für Bütten- und Schlitzöfen ist die ovale Form nicht geeignet: es würde die Beheizung der gegen die Ofenwand zuliegenden Teile der Häfen unzureichend sein; außerdem sind die Häfen bei Bütten- und Schlitzöfen durch die Flamme stärker beansprucht als bei Oberflammöfen, sodaß die Lebensdauer der Häfen mit ebenen Wandteilen unwirtschaftlich gering wäre.

Die Häfen sind außen fast zylindrisch, innen schwach konisch mit zunehmender Stärke nach unten geformt. Die früher häufig zu findenden Häfen mit konischem Außenmantel werden heute berechtigter Weise kaum mehr verwendet. Durch die außen zylindrische Form ist eine bessere Ausnützung des Herdraumes möglich, wobei durch die zunehmende Stärke des Mantels nach unten die größere Beanspruchung durch den mit der Tiefe zunehmenden Flüssigkeitsdruck des Glases berücksichtigt ist.

Die obere Mantelstärke bei Hohlglashäfen beträgt meist 5 bis 7 cm, bei Tafelglashäfen 9 bis 12 cm, bei großen Spiegelglashäfen 11 bis 13,5 cm. Besonders schwache Mäntel von 4 bis 5 cm weisen die flachen, nur etwa 30 cm hohen Häfen einzelner Oefen für gegossenes Spiegelglas auf.

Die Bodenstärken der kleinen Häfen betragen meist 8 bis 10 cm, für die größeren Häfen 12 bis 15 cm, in einzelnen Fällen 18 cm.

18. Fassungsvermögen und Ausnützungsfaktor der Häfen.

Um während einer Schmelze eine bestimmte Glasmenge zu erzeugen, müssen die Häfen zusammen ein entsprechendes Fassungsvermögen besitzen. Das theoretische Fassungsvermögen eines mit geschmolzenem Glas gerade gefüllten Hafens wird berechnet, indem man den lichten Rauminhalt des Hafens mit dem spezifischen Gewicht des Glases multipliziert; in den Zahlentafeln wurde dabei das spezifische Gewicht 2,5 kg/cdm eingesetzt.

Das theoretische Fassungsvermögen muß aber größer sein als die zu entnehmende Glasmenge wegen der Unvollkommenheiten beim Füllen und Entleeren der Häfen. Man kann die Häfen nicht bis an den Rand vollschmelzen, um ein starkes Ueberlaufen beim Blasen zu vermeiden, auch die schräge Stellung der Häfen bei geneigten Gesäßflächen verhindert ein Vollschmelzen; andererseits aber kann auch die geschmolzene Glasmenge nicht vollständig aus dem Hafen gearbeitet bezw. gegossen werden, weil ein Teil zähen Glases an den Wänden und am Boden haften bleibt und weil das Glas am Boden in der Qualität oft unbrauchbar ist: insbesondere wird es durch Aufnahme von aufgelöstem Hafenton leicht windig. Der Ausnützungsfaktor, d. i. das Verhältnis der entnommenen Glasmengen zum theoretischen Fassungsvermögen der Häfen schwankt, wie aus den Zahlentafeln ersichtlich ist, zwischen rd. 30 und 70%; der Wert von 70% liegt an der oberen Grenze des praktisch Erreichbaren, während ein Ausnützungsfaktor von 30 bis 50% meist auf geringe Beanspruchung des Ofens oder größere Störungen in der Qualität des geschmolzenen Glases zurückzuführen ist. Für den Entwurf wird man bei normalen Hafenformen mit einem Ausnützungsfaktor von rd. 60% rechnen können. Sollen also z. B. 3000 kg Glas je Schmelze aus den Häfen entnommen werden, so ist ein theoretisches Fassungsvermögen von rd. 3000 : 0,60 = rd. 5000 kg erforderlich, entsprechend einem lichten Rauminhalt aller Häfen zusammen von 5000 : 2,5 = 2000 Liter oder rd. 2,0 cbm.

Will man eine größere Ueberlastbarkeit des Ofens erzielen, so wird man mit einem geringeren Wert rechnen und umgekehrt dort, wo der Ofen möglichst knapp dimensioniert sein soll, einen etwas höheren Wert innerhalb der besprochenen Grenzwerte wählen.

19. Anzahl und Abmessungen der Häfen.

a) Gebräuchliche Werte.

Ist der gesamte Rauminhalt aller Häfen festgelegt, so ist zu wählen, auf wieviel Häfen dieser Raum verteilt werden soll; die lichten Abmessungen der Häfen können dann bestimmt werden. Wie aus den Zahlentafeln hervorgeht, enthalten Bütten- und Schlitzöfen für Hohlglas meist 8, 10 oder 12 Häfen; kleinen Oefen gibt man 4 oder 6 Häfen, großen Oefen 14 bis 16 Häfen. Der obere Innendurchmesser liegt innerhalb der Grenzen von etwa 50 bis 150 cm und beträgt meist 70 bis 110 cm. Die innere Höhe der Häfen liegt zwischen 50 und 80 cm.

Tafelglasöfen enthalten, unabhängig von der Bauart des Ofens, meist 8 Häfen mit einem oberen Innendurchmesser von 112 bis 142 cm und eine Innenhöhe von 63 bis 74 cm.

Oberflammöfen für Spiegelglas haben, wie bereits erwähnt, meist ovale Häfen. In großen Oefen für gegossenes Spiegelglas stehen fast immer 16 Häfen mit 110 bis 168 cm oberem Innendurchmesser auf der Längsseite, 80 bis 100 cm oberem Innendurchmesser auf der Schmalseite und etwa 60 bis 80 cm innerer Höhe. Bei der Erzeugung von gegossenem Spiegelglas wurden in einer Hütte gute Erfahrungen mit einer größeren Anzahl (20) kleinerer flacher Häfen erzielt.

b) Einfluß der Hafengröße.

Bei der Entscheidung, ob für ein bestimmtes Gesamtfassungsvermögen eine geringere Anzahl größerer Häfen oder eine größere Anzahl kleinerer Häfen gewählt werden sollen, sind verschiedene Gesichtspunkte zu beachten.

Die Ausfüllung der Herdfläche durch die Spiegelfläche der Häfen wird innerhalb der gebräuchlichen Hafengrößen wenig davon beeinflußt; wohl läßt sich eine gegebene Fläche vollkommener durch kleine als durch große Kreise ausfüllen, jedoch tritt ein Ausgleich, durch die vermehrte Anzahl der Zwischenräume und den größeren Flächenbedarf der Wände bei kleineren Häfen ein. Die Werte der Verhältnisse der Hafenspiegelfläche zur Herdfläche sind in den Zahlentafeln I, II u. III eingetragen. Sie schwanken meist zwischen 40 und 45%, nur in einzelnen Fällen wird durch Vergrößerung der Zwischenräume das Ausfüllungsverhältnis kleiner bis etwa 33% als Minimum; nach oben hin kann es in besonderen Fällen bis auf maximal etwa 53% gesteigert werden.

Größere Häfen ergeben breitere und kürzere Herdflächen als kleine. Bei Oefen mit Vertikalbrennern, insbesondere bei Schlitzöfen kann dadurch der Abstand zwischen den Brennern geringer werden als für ein gutes Ausbrennen der Flamme erforderlich ist. Daher werden dort meist kleinere Häfen gewählt als bei Oberflammöfen.

Für die Wärmeübertragung während der Schmelze, von welcher die Leistungsfähigkeit des Ofens abhängt, ist es ohne wesentlichen Belang, ob die Spiegelfläche auf größere oder kleinere Häfen verteilt ist; insbesondere ist dies der Fall bei Oberflammöfen, wo die Wärmeübertragung fast ausschließlich von oben erfolgt. Hingegen wird bei Bütten- und Schlitzöfen der kleinere Hafen eine etwas günstigere Wärmeübertragung ergeben, weil die Mantelfläche im Verhältnis zum Inhalt des Hafens größer ist und ein, wenn auch wahrscheinlich nicht erheblicher Teil der Wärme durch die Hafenwände geleitet wird.

Außer von den erörterten wärmetechnischen Ueberlegungen hängt die Wahl der Hafengröße und die Anzahl der Häfen auch von fabrikatorischen Rücksichten ab; z. B. ist es zweckmäßig, die Häfen für Hohlglas nur so groß zu halten, daß sie in einer Schicht ausgearbeitet werden können. Je kleiner und komplizierter die herzustellenden Artikel sind, desto kleiner wird im allgemeinen auch der Hafen sein müssen.

Der entgegengesetzte Fall tritt z. B. bei Spiegelglas ein, bei dessen Herstellung die Tendenz besteht, möglichst große Platten zu gießen. Dort müssen daher auch die Häfen möglichst groß bemessen werden, da für eine Platte nur Glas aus einem Hafen verwendet werden kann. Die Grenze nach oben wird durch die Schwierigkeiten gegeben, welche sich der Erzielung einer genügenden Festigkeit und der Manipulation mit übermäßig großen Häfen entgegenstellen.

Schließlich ist noch zu berücksichtigen, daß der Verlust durch Bruch eines Hafens verhältnismäßig umso geringer wird, auf je mehr Häfen eine bestimmte Glasmenge verteilt ist.

c) Einfluß der Höhe des Hafens.

Ist die Anzahl und das Fassungsvermögen eines Hafens berechnet, so bleibt noch zu wählen, ob dieses Fassungsvermögen in Häfen mit kleinem Durchmesser und größerer Höhe oder umgekehrt untergebracht werden soll. Die Höhe beträgt meist 55 bis 75% des größten oberen Innendurchmessers; nur vereinzelt werden höhere und geringere Werte gefunden. Höhere Häfen ergeben wohl kleinere Herdflächen und daher geringere Wärmeausstrahlungsverluste, jedoch auch geringere Flächen für die Aufnahme von Strahlungswärme; die Vergrößerung der Häfenmantelflächen bietet auch bei Vertikalbrennern keinen Ausgleich dafür, daß die in gleichen Zeiten und unter sonst gleichen Verhältnissen auf den Hafeninhalt übertragene Wärmemenge umso geringer wird, je größer bei gegebenem Rauminhalt das Verhältnis der Höhe zum Durchmesser ist; entsprechend langsamer erfolgt dann auch die Schmelze und entsprechend geringer wird die Schmelzleistung des Ofens. Bei vorgeschriebener Schmelzzeit und Schmelzleistung darf daher die Höhe der Häfen ein gewisses durch die oben angegebenen Grenzwerte angenähert gegebenes Verhältnis nicht überschreiten.

Insbesondere werden bei Oberflammöfen flache Häfen günstigere Schmelzverhältnisse ergeben.

Mit wachsender Hafenhöhe steigen auch die Schwierigkeiten, eine durchgreifende Läuterung zu erzielen und das Glas während des Ausarbeitens auf erforderlicher Temperatur zu halten. In den unteren Partien ergibt sich häufig eine sich in Winden, Rampen und Gispen usw. äußernde Verschlechterung des Glases.

Schließlich ist noch zu erwähnen, daß bei höheren Häfen die Gefahr des Hafenbruchs stärker ist, da der Flüssigkeitsdruck des geschmolzenen Glases auf die Hafenwände mit der Höhe des Hafens steigt.

Ein Vorteil der höheren Häfen ist, daß das Verhältnis der entnommenen Glasmengen zum theoretischen Fassungsvermögen der Häfen günstiger gehalten werden kann.

Im Wärmeverbrauch je kg Glas sind merkliche Unterschiede zwischen höheren und niedrigeren Häfen gleichen Fassungsvermögens innerhalb der üblichen Grenzen nicht festzustellen; die Verlängerung der Schmelzdauer bei höheren Häfen wird ungefähr ausgeglichen durch die Verringerung der wärmeausstrahlenden Ofenwände.

Zusammenfassend kann gefolgert werden:

Für eine bestimmte Schmelzleistung sind im allgemeinen niedrige Häfen mit verhältnismäßig großem Durchmesser vorzuziehen, da bei angenähert gleichem Wärmeverbrauch sich leichter ein gutes Glas schmelzen läßt.

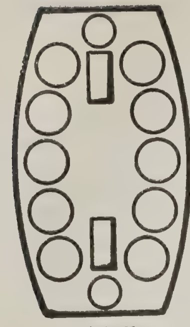
Bei gegebener Herdfläche aber ermöglichen höhere Häfen eine größere Glasausbeute und entsprechend geringeren spezifischen Wärmeverbrauch; es kann dann vorteilhaft sein, die Höhe soweit zu vergrößern, als es die Rücksicht auf die Glasqualität zuläßt.

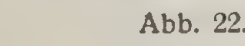
V. Herdraum des Oberofens.

20. Form der Herdfläche.

Bei Oberflammöfen wird fast ausschließlich eine rechteckige Form der Herdfläche verwendet; auch die vereinzelt zu findenden Schlitzöfen für Tafelglas haben rechteckige Form. Bei Oefen für Hohlglas, also vorwiegend bei Büttenöfen, ist eine ovale Form beliebt mit konvex nach außen gewölbten Seitenwänden. (Vergl. Abb. 22.) Diese Form ermöglicht die feuerungstechnisch begründete Ausbreitung der Flamme zwischen den Bütten und gestattet eine bequemere Unterbringung der Glasarbeiter an dem Ofen durch sektorähnliche Erweiterung der Arbeitsbühne.

Die kreisrunde Form (vergl. Abb. 23) findet man bei Regenerativöfen berechtigter Weise kaum mehr vor, trotz ihrer Vorteile in bezug auf Platzverhältnisse der Arbeiter und




Abb. 22.


Grundriß eines Hafenofens mit gewölbten Seitenwänden.

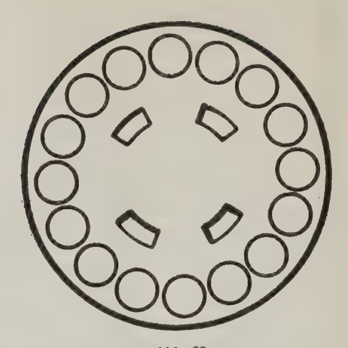


Abb. 23.
Grundriß eines kreisrunden Hafenofens.

gleichmäßige Wärmeverteilung; der kurze Flammenweg zwischen den Bütten und die übermäßige Größe der wärmeausstrahlenden Gewölbeflächen erhöhen den Brennstoffverbrauch. Hingegen kann bei Rekuperativöfen mit gleichbleibender Flammenrichtung die Vorliebe für die runde Ofenform berechtigt sein.

21. Größe der Herdfläche.

Sowohl das Fassungsvermögen des Schmelzraums als auch die von den Heizgasen auf das Schmelzgut übertragene Wärmemenge sind in erster Linie abhängig von den Abmessungen des Herdes, insbesondere von der Größe der Herdfläche. Alle die Leistung beeinflussenden Faktoren können am besten durch ihr Verhältnis zur Herdfläche gekennzeichnet werden; die Ordnung der Ofenstatistik in den Zahlentafeln I bis IX erfolgte daher nach der Größe der Herdfläche.

Die Herdflächen der statistisch erfaßten 52 Hafenöfen liegen zwischen rd. 5 und 50 qm, wobei die Sprünge zwischen den auf einander folgenden Größen verhältnismäßig gering sind. Die Grenzen der Herdfläche für die einzelnen Ofenbauarten sind in dem Abschn. II/10 für Büttenöfen, Schlitzöfen und Oberflammöfen getrennt angegeben.

Bei der Vorausberechnung der Herdfläche geht man am besten von der beabsichtigten Erzeugungsmenge an Glas aus, wobei zunächst zu entscheiden ist, auf welche Anzahl von Oefen die Erzeugung verteilt werden soll; diese Entscheidung kann für die Wirtschaftlichkeit der Anlage ausschlaggebend sein.

Die Beziehung zwischen Herdfläche und Glasausbeute ist in den Zahlentafeln VII bis IX und in den Abb. 6, 7 u. 8 eingetragen und in Abschn. III/12 erörtert. Die in diesen Abbildungen eingezeichneten Kurven können für die Vorausberechnung normaler Oefen verwendet werden. Soll z. B. eine Menge von 6000 kg Hohlglas in 24 Std., d. i. durchschnittlich 250 kg/Std. aus Büttenöfen entnommen werden, so kann diese Erzeugung in einem Ofen erfolgen oder auf zwei, drei und noch mehr Oefen verteilt werden.

Aus der Kurve in Abb. 6 ergeben sich für normale Verhältnisse folgende Werte:

1 Ofen für	250 kg Glas/Std.:	erforderliche Herdfläche	. . . .	19 qm
2 Oefen für je	125 „ „ :	„ „	je 13 qm, zusammen . .	26 „
5 Oefen für je	50 „ „ :	„ „	je 7,2 „ „ . .	36 „

Die Gesamtherdfläche bei 2 Oefen muß also für gleiche Glasausbeute etwa 1,5 mal so groß sein wie bei einem Ofen, bei 5 Oefen beinahe doppelt so groß wie bei einem Ofen. Das kommt daher, daß, wie in Abschn. III/12 auseinandergesetzt ist, die Schmelzleistung je qm Herdfläche bei großen Oefen wesentlich höher ist als bei kleinen Oefen.

Mit der Größe der Gesamtherdfläche wachsen bei Unterteilung der Erzeugung auf mehrere Oefen auch Raumbedarf, Anlage- und Bedienungskosten der gesamten Schmelzanlage.

Von besonderer Bedeutung ist auch die wärmetechnische Ueberlegenheit der größeren Oefen, welche in Abschn. III/15 a erörtert und in den Abb. 13, 14 u. 15 ersichtlich ist.

Für das oben besprochene Beispiel ergeben sich aus der Kurve in Abb. 13 folgende Werte für den Wärmebedarf:

Bei einer Herdfläche von 19 qm . . . 9 700 WE/kg Glas
" " " " 13 " . . . 12 200 " "
" " " " 7,2 " . . . 16 900 " "

Der Vergleich des gesamten Wärmeverbrauchs für die Erzeugung von 250 kg Glas/Std. und die Umrechnung auf Braunkohlenbriketts mit einem Heizwert von 4500 WE/kg ergibt demnach folgendes Bild:

1 Ofen für 250 kg Glas/Std. braucht 250 . 9 700 = 2 425 000 WE/Std.; entspr. rd. 13 000 kg Briketts/24 Std.

2 Oefen für je 125 kg Glas/Std. brauchen 250 . 12 200 = 3 050 000 WE/Std.; entspr. 16 300 kg Briketts/24 Std.

5 Oefen für je 50 kg Glas/Std. brauchen 250 . 16 900 = 4 230 000 WE/Std.; entspr. 22 600 kg Briketts/24 Std.

Wenn auch durch verschiedene Umstände der wirkliche Brennstoffverbrauch von diesen vorausberechneten Normalzahlen nach oben oder unten abweichen kann, so geht doch das starke Ansteigen des Brennstoffverbrauchs mit der Unterteilung der Erzeugung auf mehrere Oefen augenscheinlich hervor.

Den wärmetechnischen Nachteilen der Unterteilung bei voller Belastung der Oefen steht als u. U. sehr wichtiger Vorteil die Möglichkeit gegenüber, die Glaserzeugung leichter dem Bedarf anpassen zu können, indem bei geringerem Bedarf mit entsprechend weniger Oefen gearbeitet wird. Wie in Abschn. III/15 c erörtert ist, sinkt der Wärmebedarf eines Ofens bestimmter Abmessungen nur wenig mit der Belastung, sodaß der Wärmeverbrauch für 1 kg Glas mit abnehmender Belastung des Ofens sehr schnell steigt. (Vergl. Abb. 20.) Bei Unterschreitung der normalen Produktion arbeitet daher von einer gewissen Grenze ab der kleine Ofen wirtschaftlicher als der teilbelastete große Ofen. Ein weiterer Vorteil der Unterteilung der Glaserzeugung ist, daß sich Betriebsstörungen bei einem Ofen, hervorgerufen z. B. durch Unfälle, Ausbesserungen, Umbauten usw., in der Produktion umso weniger bemerkbar machen, auf je mehr Oefen die Erzeugung verteilt ist. Ist nur ein Ofen im Betrieb, so soll daher immer ein zweiter zur Reserve vorhanden sein.

Selbstverständlich gelten die angegebenen Unterlagen für die Berechnung der Herdgröße nur unter der Voraussetzung, daß der Herd in normaler Weise mit Häfen besetzt ist. Die Glasspiegelfläche der Häfen beträgt dabei etwa 40 bis 45% der Herdfläche, wie aus den Zahlentafeln I, II u. III hervorgeht. Liegen Anzahl und Abmessungen der Häfen fest, so ist zur Vermeidung unnützer Wärmeverluste durch die Wände die Herdfläche so knapp als möglich zu bemessen, soweit nicht besondere Bedingungen berücksichtigt werden müssen.

22. Lineare Abmessungen des Herdraumes.

Die Grenzwerte von Länge und Breite bei den statistisch erfaßten Oefen liegen nach den Zahlentafeln I, II u. III für die lichte Länge des Herdraumes zwischen rd. 2,5 und 11,5 m, für die lichte Breite zwischen 2,0 und 4,8 m.

Der beliebten Angabe von Verhältniszahlen zwischen Länge und Breite ist für den Entwurf der Oefen keine Bedeutung beizumessen, da die Wahl dieser Abmessungen bei gegebener Herdfläche durch andere Faktoren bestimmt ist. Während die Länge der Herdfläche von der Anzahl und Größe der Häfen abhängt, ist die Breite der Herdfläche von der Anzahl unabhängig, sondern nur von der Breite der Häfen und dem erforderlichen Abstand zwischen den Hafenreihen bedingt. Das Verhältnis von Länge zur Breite ist also wesentlich von der Anzahl der Häfen abhängig.

Wie schon erwähnt, muß bei gegebener Anzahl und festliegenden Abmessungen der Häfen die Herdfläche möglichst knapp bemessen sein; zu diesem Zweck müssen die Zwischenräume zwischen 2 benachbarten Häfen und die Abstände der Häfen von den Ofenwänden möglichst verringert werden. Der Abstand der gegenüberliegenden Häfen darf aber bei Oefen mit Bütten- und Schlitzbrennern ein gewisses Maß nicht unterschreiten mit Rücksicht darauf, daß die Häfen nicht zu stark im Feuer liegen dürfen, wobei auch die Vergrößerung der Brenneröffnung im Verlauf der Betriebszeit zu beachten ist; das Ausbrennen der Brenneröffnungen ruft sonst die Gefahr des Stürzens der Häfen hervor. Der Abstand zwischen Hafen und Brennerrand beträgt meist 150 bis 300 mm.

Bei Oberflammöfen bestehen aber keine Bedenken, den Abstand der Hafenreihen möglichst gering zu halten und es erscheint nicht recht verständlich, warum man auch dort häufig ebenso großen Abstand findet wie bei Bütten- und Schlitzöfen, wo zwischen den Hafenreihen Raum für die Flamme vorhanden sein muß.

Hingegen wird man bei Oberflammöfen vorteilhaft die Abstände der Eckhäfen von den Stirnwänden etwas größer halten als mit Rücksicht auf die Unterbringung der Häfen nötig ist, um die Gefahr des Zurückbleibens der Eckhäfen zu vermindern.

Die Höhe des Herdraumes beträgt nach Zahlentafel I, II u. III bei Büttenöfen meist 1,2 bis 1,5 m, maximal 2 m, bei Schlitzöfen 1,5 bis 1,7 m, bei den großen Spiegelglasöfen zwischen 2 bis 2,5 m. Die geringsten Werte für die Höhe weisen einige bayerische Oberflammöfen für Spiegelglas auf, welche mit besonders flachen, etwa 30 cm hohen Häfen arbeiten. Gewöhnlich macht man bei Bütten- und Schlitzöfen den Raum über den Häfen etwa ebenso hoch wie die Häfen selbst, während bei Oberflammöfen ein doppelt so hoher Raum frei bleibt, um die Flamme nicht zu stark auf die Häfen zu drücken.

Mit der Höhe des Herdraumes wachsen die wärmeableitenden Flächen der Seitenwände und daher die Wandverluste, desto mehr werden aber Häfen und Gewölbe geschont. Für die Wärmeübertragung in der Zeiteinheit von der Flamme auf das Glas ist ein Einfluß der Herdraumhöhe nicht erkennbar, und innerhalb der üblichen Grenzen auch wahrscheinlich kaum vorhanden. Wohl wird mit wachsender Höhe die Uebertragung von Wärme durch Leitung geringer, jedoch wächst andererseits mit der Dicke der Flammenschicht nach neueren Untersuchungen bis zu einer gewissen Grenze die durch Eigenstrahlung der Flamme übertragene Wärmemenge.

Mit wachsender Höhe des Herdraumes sinkt im allgemeinen die Strömungsgeschwindigkeit der Flammengase im Herd; die Aufenthaltsdauer der Gase und infolgedessen die Wärmeabgabe wird vergrößert, das Ausbrennen auch bei geringem Luftüberschuß gefördert. Es erscheint aber nicht berechtigt, Geschwindigkeit und Aufenthaltsdauer unter der Annahme zu berechnen, daß der Strömungsquerschnitt der Flammengase identisch sei mit dem vollen Querschnitt des Herdraumes. Sicher sind diese Größen nicht nur vom Herdraum, sondern unter gleichen Betriebsbedingungen auch von dem Brennerquerschnitt und dem Abstand der Ein- und Austrittsöffnungen abhängig. Die in der Ofenbauliteratur vorzufindende Berechnung der Herdraumhöhe auf Grund einer vorgeschriebenen Aufenthaltsdauer der Gase im Herdraum ist daher unzweckmäßig, umsomehr als weder wirkliches Volumen der Flammengase noch ihr Strömungsquerschnitt im Herdraum auch nur mit einigermaßen befriedigender Genauigkeit gemessen oder berechnet werden können.

VI. Wärmeverteilung im Herdraum.

23. Bedeutung der Wärmeverteilung.

Bei Hafenöfen erfordern im Gegensatz zu Wannenöfen Gesichtspunkte sowohl betriebs- als auch produktions- und wärmetechnischer Natur eine möglichst hohe Gleichmäßigkeit in der Wärmeverteilung über den Herdraum. Es soll jedem einzelnen Hafen während der Schmelzperiode die gleiche Wärmemenge zugeführt werden, um die Schmelze in allen Häfen in möglichst gleicher Zeit durchführen zu können. Ungleiche Wärmeverteilung bewirkt einerseits Zurückbleiben einzelner Häfen und damit eine Verzögerung der ganzen Schmelzperiode, u. U. Verringerung der Produktion und daraus folgend Erhöhung des spezifischen Brennstoffverbrauchs; andererseits sind einzelne Häfen leicht der Gefahr einer Ueberhitzung und frühen Bruchs ausgesetzt.

Die zahlreichen Untersuchungen der W. B. G. haben gezeigt, daß die Bedingung dieser gleichmäßigen Wärmeverteilung nur in seltenen Fällen praktisch vollkommen erfüllt ist. Meist ist die Verteilung fehlerhaft und zwar treten die Ungleichmäßigkeiten bei Regenerativöfen mit rechteckiger oder ellipsenähnlicher Herdfläche in folgenden drei verschiedenen Erscheinungsformen auf:

a) Ungleichmäßigkeiten an den beiden Ofenköpfen derart, daß die Häfen an dem einen Brenner gegenüber den Häfen an dem anderen Brenner in der Schmelze zurückbleiben.

b) Ungleichmäßigkeiten in der Längsrichtung der Flamme zwischen den Brennern derart, daß entweder die Eckhäfen oder die Häfen in der Mitte in der Schmelze zurückbleiben.

c) Ungleichmäßigkeiten im Querschnitt des Herdraums derart, daß die Hafenreihe an der einen Längsseite des Ofens zurückbleibt hinter den Häfen an der anderen Längsseite.

Auch bei Oefen mit kreisförmiger Herdfläche, wie sie insbesondere bei Rekuperativöfen mit zentralem Brenner verwendet werden, zeigen sich Ungleichmäßigkeiten, indem

die Wärme sich nicht gleichmäßig nach allen radialen Richtungen verteilt, wie es notwendig wäre.

Die auf die einzelnen Häfen übertragenen Wärmemengen lassen sich meßtechnisch oder rechnerisch kaum feststellen. Zur Beurteilung der Wärmeverteilung kann man aber den Temperaturverlauf im Längsschnitt und Querschnitt des Herdraumes verwenden, da der Wärmeübergang in erster Linie eine Funktion der Temperatur an der betreffenden Ofenstelle ist. Freilich ist eine eindeutige Temperaturmessung im Innern des Ofenraumes kaum möglich, d. h. man kann nicht mit Bestimmtheit die Temperatur des Hafens, der Flamme und der Wände getrennt angeben, da der Meßwert von allen diesen Faktoren beeinflußt wird. Für den Vergleich der Temperaturen an den verschiedenen Stellen muß deshalb auf möglichst gleichartige Meßbedingungen geachtet werden.

24. Ungleichmäßigkeit an beiden Ofenköpfen.

Bei richtig gehenden Oefen müssen die Temperaturverhältnisse in der Längsrichtung des Ofens während zweier auf einander folgenden Umsteuerperioden an beiden Ofenköpfen vollständig gleichmäßig wechseln. Die Temperaturkurven bei beiden Flammenrichtungen müssen zur Mittellinie des Ofens symmetrisch sein. (Abb. 24.) Sehr häufig ist aber der Gang des Ofens verschieden, je nachdem die Flamme in der einen oder anderen Richtung durch den Ofen strömt; die Temperaturkurven liegen dann unsymmetrisch zur Mittellinie. (Abb. 25.) Die Folge davon ist ein Zurückbleiben der Schmelze an dem Brenner, an welchem die niedrigeren Temperaturen herrschen.

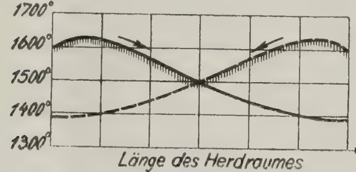


Abb. 24. Symmetrischer Temperaturverlauf.

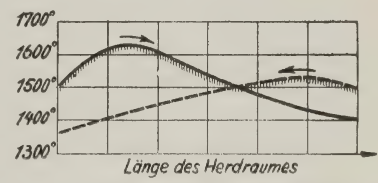


Abb. 25. Unsymmetrischer Temperaturverlauf.

Die Ursachen für die Ungleichheit der Verhältnisse an beiden Ofenköpfen können in der baulichen Anordnung, im baulichen Zustand oder in Betriebsführung liegen.

a) Wo Unsymmetrie der baulichen Anordnung vorliegt, ist die Unsymmetrie der Temperaturverhältnisse eigentlich mit Selbstverständlichkeit zu erwarten. Ein Beispiel dafür gibt die Anordnung der Wechselkanäle an den meisten Lausitzer Oefen: infolge der verschiedenen Länge der Kanäle zwischen Wechsel und Kammer sind die Kammertemperaturen und weiter Vorwärmtemperaturen von Gas und Luft, die Verbrennungs-, Ofen- und Hafen-Temperaturen an den beiden Brennern in zwei auf einander folgenden Umsteuerperioden verschieden groß. (Vergl. Abschn. X/50.)

Eine Abhilfe gegen die durch bauliche Unsymmetrie bedingte Ungleichmäßigkeit in der Wärmeverteilung ist nur durch bauliche Umänderung möglich.

b) Verschiedenheiten im baulichen Zustand an den beiden Ofenköpfen entstehen im Laufe der Betriebszeit durch Risse und Sprünge in den Kammerwänden, Verschiedenheit der Grundwasserverhältnisse, Verziehen von Wechselklappen usw. Durch die Undichtigkeiten in den Kammerwänden, insbesondere an den Türen tritt falsche Luft ein, welche während der Gasperiode eine Vorverbrennung, während der Abgasperiode eine Abkühlung bewirkt, in beiden Fällen also wärmetechnisch schädlich ist. Durch Verziehen der Luftwechselklappen hervorgerufenes undichtes Schließen hat zur Folge, daß ein Teil der durch den Wechsel gesaugten Luft statt durch die Kammern unmittelbar in den Abgaskanal strömt; dadurch werden einerseits die Abgase abgekühlt, die Zugstärke verringert, andererseits geht ein Teil der für die Verbrennung bestimmten Luftmenge verloren, was u. U. unvollkommene Verbrennung zur Folge hat. In den weitaus meisten Fällen zeigt die Untersuchung, daß die Undichtigkeiten in den Kammerwänden sowie in den beiden Lagen der Luftwechselklappen während der einen Umsteuerperiode in anderen Ausmaßen auftreten als nach dem Wechseln. Das verschieden starke Verziehen der Klappen kann z. B. bedingt sein durch einseitiges Antempern oder durch einseitige Ueberhitzung der Klappen bei zu lange ausgedehnter Abgasperiode, wie man es bei nachlässiger Bedienung des Ofens oft finden kann.

Zur Abhilfe gegen die durch den baulichen Zustand bedingten Ungleichmäßigkeiten in der Wärmeverteilung ist sachgemäße Ausführung der Wände, regelmäßige Abdichtung, Vermeidung von ebenen Klappen, die sich leicht verziehen, zu empfehlen. Wo Klappen verwendet werden, ist auf gleichmäßiges Wechseln und nicht zu lange Dauer der Abgasperiode zu achten. Sind bereits Undichtigkeiten vorhanden, so kann durch ungleiche Wechseldauer ein teilweiser Ausgleich geschaffen werden, indem man auf der kälteren Seite die Feuerperiode verkürzt und die Abgasperiode verlängert. Die zuweilen gefundene umgekehrte Maßnahme: Verlängerung der Feuerperiode an dem kälteren Ofenkopf bewirkt natürlich gerade das Gegenteil von dem, was damit erzielt werden soll, indem durch zu lange Ausdehnung der Gas- bezw. Luftströmung die betreffenden Kammern stärker abkühlen und die Verbrennungstemperatur dadurch erniedrigt wird.

25. Ungleichmäßigkeit in der Längsrichtung der Flamme.

Der ideale Temperaturverlauf in einem Regenerativ-Hafenofen müßte so gestaltet sein, daß in der Flammenrichtung von der Stirnwand bis zur Mitte des Ofens die Temperatur möglichst hoch und möglichst konstant ist, während von der Mitte bis zum abziehenden Brenner die Temperatur schneller sinken kann. Durch Umkehrung der Flammenrichtung wird bei gleichem Gang beider Ofenköpfe der Ausgleich in der Wärmeverteilung hergestellt. Abb. 26 zeigt die Temperaturkurven bei einem solchen idealen Temperaturverlauf.

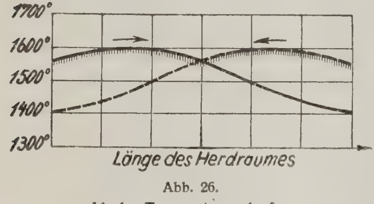


Abb. 26.
Idealer Temperaturverlauf.

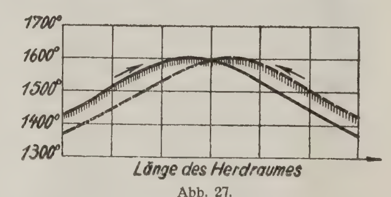


Abb. 27.
Temperaturverlauf bei Zurückbleiben der Eckhäfen.

Es ist begreiflich, daß die Bedingung einer möglichst konstanten Temperatur von Stirnwand bis zur Ofenmitte nur bei verhältnismäßig kurzen Oefen angenähert erfüllt werden kann. Bei normalen Büttenöfen mit Längen bis zu etwa 6 m und Schlitzöfen mit Längen bis zu etwa 7 m treten daher auch Schwierigkeiten in dieser Beziehung seltener auf. Hingegen findet man bei Oberflammöfen mit Längen bis über 10 m sehr häufig, daß die Temperaturen in der Längsrichtung der Flamme bis zur Ofenmitte sich stark ändern, und zwar bleiben meist die Eckhäfen in der Schmelze zurück dadurch, daß der Kern der Flamme mit der höchsten Verbrennungstemperatur der Ofenmitte näher ist als den Brennern. Abb. 27 zeigt den Temperaturverlauf in diesem Fall. Zur Abhilfe müßte die Verbrennung näher an den Brenner gelegt werden, was durch Verbesserung der Mischung und Erhöhung der Zündgeschwindigkeit erzielt werden kann. Die zur Verbesserung der Mischung dienenden Mittel werden in dem Abschn. VIII/37 a behandelt. Die Erhöhung der Zündgeschwindigkeit kann erfolgen durch Vergrößerung des Luftüberschusses bis zu einer gewissen Grenze, durch Erhöhung des Wasserstoffgehaltes im Gas, durch Verringerung der Gasfeuchtigkeit und Erhöhung der Vorwärmtemperaturen von Gas und Luft. Es ist dann möglich, die Flamme bereits voll entwickelt in den Herdraum zu werfen. Dabei kann allerdings eine Umkehrung der Verhältnisse in unerwünschter Weise eintreten, sodaß dann, insbesondere bei größerer Ofenlänge, die Häfen in der Mitte zurückbleiben. Der Temperaturverlauf in diesem Fall ist in Abb. 28 dargestellt. Außerdem ist die Lebensdauer der Brenner natürlich geringer, wenn in ihnen eine starke Vorverbrennung erfolgt.

Durch Verringerung des Luftüberschusses bezw. Einstellung eines Gasüberschusses kann eine Verbesserung in der Gleichmäßigkeit der Wärmeverteilung nur so erfolgen, daß die Verbrennung auf eine größere Strecke hinausgezogen wird. Der Temperaturverlauf in diesem Fall ist in Abb. 29 wiedergegeben. Die Temperatur auf der Feuerhälfte des Ofens wird niedriger, die auf der Ausströmhälfte höher als sonst. Die Gleichmäßigkeit wird also nicht in dem Sinne erreicht, daß die zurückbleibenden Häfen mehr Wärme

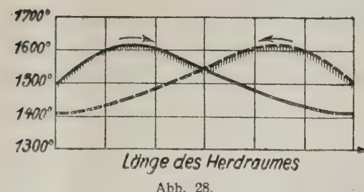


Abb. 28.
Temperaturverlauf bei Zurückbleiben der mittleren Häfen.

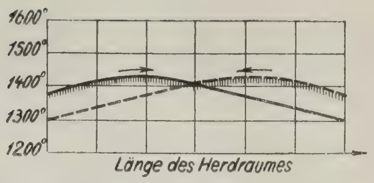


Abb. 29.
Temperaturverlauf bei Gasüberschuss.

erhalten, sondern nur so, daß die vorher schneller schmelzenden Häfen nun gleichfalls weniger Wärme erhalten, sodaß die Schmelzdauer nicht kürzer wird als vorher.

Eine vollständige Vermeidung der ungleichmäßigen Wärmeverteilung wird umso schwieriger, je länger die Flamme ist und kann daher bei großen Hafenöfen in der üblichen Bauart kaum erzielt werden. Abhilfe ist nur durch grundsätzliche Aenderung in der Flammenführung zu erreichen, wie sie z. B. in dem Vielflammenofen von Knoblauch verwirklicht ist. Die Flammen streichen nicht in der Längsrichtung des Ofens, sondern quer dazu zwischen den einzelnen Häfen durch den Herdraum und sind in Mengen- und Mischungsverhältnis von Gas und Luft einzeln einstellbar.

26. Ungleichmäßigkeit im Querschnitt des Herdraumes.

Eine richtig brennende Flamme soll in jedem zur Strömungsrichtung senkrechten Querschnitt eine zur Mittelebene des Ofens möglichst symmetrische Beschaffenheit besitzen, d. h. die linke Hälfte soll das Spiegelbild der rechten Hälfte sein. Die Beobachtung zeigt aber, daß diese Forderung sehr häufig unerfüllt bleibt; man findet in krassen Fällen über der einen Hafenreihe eine schwelende, rauchende, stark in den Arbeitslöchern liegende Flamme mit niedrigen Temperaturen, also Gasüberschuß, derart, daß die Häfen kaum zu sehen sind, auf der anderen Längsseite des Ofens aber eine helle oder kaum sichtbare heiße und hoch strömende Flamme mit Luftüberschuß. Entsprechend ist natürlich der Schmelzverlauf beider Hafenreihen verschieden. Durch die Untersuchungen der W. B. G. sind die Ungleichmäßigkeiten derselben in bezug auf die Zusammensetzung der brennenden Gase als auch in bezug auf die Temperatur zahlenmäßig in vielen Fällen festgelegt worden. Beispiele sind in Abschn. VIII angeführt.

Voraussetzung für eine Symmetrie im Querschnitt der Flamme ist eine möglichst gleichmäßige Mischung von Gas und Luft vor und während der Verbrennung. Die Einleitung oder Durchführung einer solchen Mischung ist die Aufgabe der Brenner; diese Ungleichmäßigkeiten sind also durch unzweckmäßige Bauart der Brenner bedingt und können nicht durch betriebliche Maßnahmen, sondern nur durch einen Umbau der Brenner beseitigt werden. (Vergl. Abschn. VIII.)

27. Teilung der Flamme.

Eine gleichmäßige Mischung ist umso schwieriger durchzuführen, je größer die Mengen der zu mischenden Medien sind. Durch Verteilung auf zwei oder mehrere Brenner kann deshalb die Mischung verbessert werden. Bei Hafenöfen wird in der Mehrzahl nur mit einer Flamme gearbeitet; nur bei größeren Oberflammöfen findet man zwei Flammen nebeneinander, über jeder Hafenreihe eine Flamme. Damit ist natürlich ein gleichmäßigerer Gang beider Seiten wesentlich leichter zu erzielen, sofern die beiden Flammen gleich brennen; eine gleichmäßige Einstellung beider Flammen kann durch Veränderung der Schachtquerschnitte mit Hilfe eingeschobener Platten erreicht werden, falls durch die Bauart oder während des Betriebes sich ergebende Umstände eine Ungleichheit bewirken. Diese Regelplatten aus Schamotte brennen aber in ihren Führungen fest, sodaß die Verschiebung umständlich ist und nur während einer Betriebspause vorgenommen werden kann.

Der bereits erwähnte Vielflammenofen von Knoblauch zeichnet sich nicht nur durch die Querführung der Flamme und die dadurch mögliche Verkürzung der Verbrennungsstrecke aus, sondern auch durch die der Bauart den Namen gebende Teilung der Flamme, welche eine gleichmäßigere Beheizung größerer Herdräume ermöglicht.

Noch einfacher erscheint die Regelung der Wärmeverteilung bei Verwendung eiserner Brenner. Für Beheizung von Rekuperativöfen und Regenerativöfen mit kaltem Koksofengas und für die Beheizung von Wannenteilen mit gereinigtem Generatorgas werden sie in einzelnen Fällen bereits erfolgreich verwendet. Es ist kein Zweifel, daß mit weiterschreitender Mechanisierung der Betriebe sich diese eisernen Brenner in steigendem Ausmaß einführen werden.

VII. Wärmespeicher.

28. Zweck und Wirkungsweise.

Die Wärmespeicher haben verschiedene Funktionen zu erfüllen.

a) Durch die Vorwärmung von Gas und Luft wird eine Erhöhung der Verbrennungstemperatur erzielt und dadurch das Temperaturgefälle von der Flamme zu dem Schmelzgut erhöht; damit ist ein besserer Wirkungsgrad des Ofens, also verringerter Brennstoffverbrauch verbunden. Bei heizwertarmem und niedrig temperiertem Frischgas, wie es z. B. bei Vergasung von Rohbraunkohle erzeugt wird, wird überhaupt erst durch entsprechend hohe Vorwärmung eine für den Schmelzbetrieb ausreichende Verbrennungstemperatur ermöglicht.

b) Ein weiterer Zweck ist die Verringerung der Abhitzeverluste dadurch, daß die Wärme der aus dem Herdraum abziehenden Verbrennungsprodukte in mehr oder minder hohem Maße zur Vorwärmung des Frischgases und der Verbrennungsluft oder der Luft allein verwendet wird. Die Bedeutung der Wärmespeicher zur Ausnützung der Abhitze geht aus der Ueberlegung hervor, daß die Abgase beim Austritt aus dem Herdraum während der Schmelze meist noch Temperaturen von über 1400° C besitzen und daß ihr Wärmeinhalt meist noch etwa drei Viertel von dem Heizwert des Frischgases beträgt. Von dieser Wärmemenge wird in den Wärmespeichern durchschnittlich noch etwa ein Drittel ausgenutzt.

c) Schließlich müssen die Wärmespeicher noch die Zuführung der Verbrennungsluft bezw. bei Generatoren mit natürlichem Zug auch die Zuführung des Frischgases zum Herdraum bewirken, dadurch, daß durch den Auftrieb der heißen Luft bezw. des heißen Gases Luft bezw. Gas, ähnlich wie durch einen Schornstein angesaugt werden. Bei geblasenen Generatoren unterstützt der Auftrieb der Gaskammer den Gasdruck bei der Förderung. Geblasene Luftkammern, d. h. Kammern, durch welche auch die Luft mittels Ventilator in den Ofen gedrückt wird, sind in der Glasindustrie bis jetzt nur ganz vereinzelt in Verwendung.

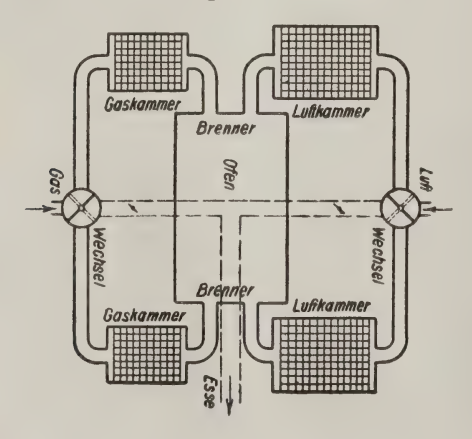


Abb. 30.
Schema der Regenerativfeuerung.

In der weitaus überwiegenden Mehrzahl werden Gas und Luft vorgewärmt und nur in einzelnen Fällen, wie bei den Rekuperativöfen begnügt man sich mit der Vorwärmung der Luft allein. Wenn auch der Verzicht auf jede Gasvorwärmung im allgemeinen nicht berechtigt erscheint, so sprechen doch manche Gründe dafür, die Gasvorwärmung zugunsten der Luftvorwärmung geringer zu halten, insbesondere, wenn das Frischgas schon mit verhältnismäßig hohen Temperaturen zu den Kammern gelangt, wie es z. B. bei Gas aus Steinkohlen, in geringerem Maße auch bei Brikettgas der Fall ist. (Vergl. Abschn. VII/33.)

Die Anordnung und Wirkungsweise des Regenerativsystems ist in Abb. 30 schematisch dargestellt. Es sind 4 Wärmespeicherkammern vorhanden: 2 Luftkammern und 2 Gaskammern, welche mit einem Gitterwerk aus feuerfesten Steinen gefüllt sind. Während die Abgase aus dem Herdraum durch Gas- und Luftkammer auf der einen Ofenseite abströmen und ihren Wärmeinhalt z. T. an Wände und Gitterwerk abgeben, strömen Frischgas und Verbrennungsluft durch Gas- und Luftkammer auf der anderen Seite zum Herdraum und entnehmen die in der vorhergehenden Wechselperiode darin aufgespeicherte Wärme. Die Umsteuerung der Gas-, Luft- und Abgas-Strömung erfolgt meist alle 30 Minuten; nur während des Läuterns und Warmhaltens wird vielfach häufiger gewechselt, um die während einer Wechselperiode auftretenden Temperaturschwankungen zu verringern.

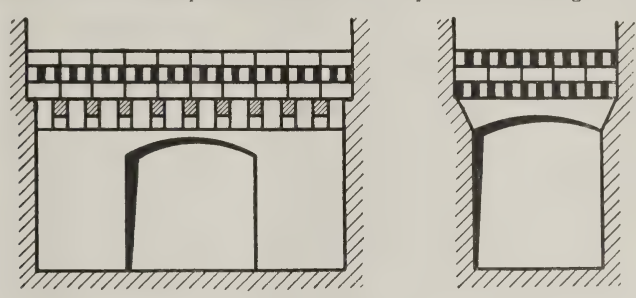


Abb. 31 u. 32. Aufriß und Kreuzriß der Unterkammer.

Zum vollständigen Wärmespeicher gehören folgende Teile: Die eigentlichen Kammern mit dem Gitterwerk und dem darüber befindlichen Gasraum; die Unterkammern, welche mit Bogensteinen überwölbt sind, auf denen das Gitterwerk der Kammern ruht; (Abb. 31 u. 32); die Wechselkanäle, welche die Umsteuervorrichtungen (Abschn. X) mit den Unterkammern verbinden, die Brennerschächte, welche den Gasraum der Kammern mit den Brennern verbinden; schließlich gehören auch die Brenner selbst, soweit sie Gas und Luft getrennt führen, noch zum Wärmespeicher.

Wände und etwaige Steinfüllungen aller dieser Teile nehmen an dem Wärmeaustausch zwischen Abgasen und Gas bezw. Luft teil; den weitaus größten Anteil daran haben die eigentlichen Kammern, insbesondere das darin untergebrachte Gitterwerk.

29. Strömungsverhältnisse in den Kammern.

Für die Wirkung der Kammern sind nicht nur ihr Rauminhalt und das Gewicht des Gitterwerks, sondern auch Ausnützung der Kammern für die Strömung und die von der Verteilung des Gitterwerksgewichts abhängige freie Wärmeaustauschfläche (Heizfläche) von Belang. Man findet vielfach Kammern, deren Maße im Verhältnis zu den übrigen Abmessungen des Ofens durchaus ausreichend erscheinen, deren Wirkung aber trotzdem ungenügend ist, weil in den Kammern nur eine geringe Heizfläche untergebracht ist oder weil die strömenden Medien nur mit einem Bruchteil der Heizfläche in Berührung kommen und große tote, d. h. nicht im Strom liegende Winkel vorhanden sind.

Um eine zur Verfügung stehende Kammergröße möglichst gut auszunutzen, sind zwei Bedingungen zu erfüllen:

a) Es muß der Strömungsweg möglichst lang sein, um die Zeitdauer des Aufenthaltes der strömenden Medien in der Kammer möglichst zu verlängern und dadurch die ausgetauschte Wärmemenge zu vergrößern.

b) Die strömenden Medien sollen über die Heizfläche möglichst vollkommen und gleichmäßig verteilt und tote Winkel möglichst vermieden werden. Sehr häufig wird durch Anordnung langer Strömungswege auch die gleichmäßige Verteilung über das Gitterwerk begünstigt.

Meist teilt man die Kammern in liegende und stehende ein und zwar bezeichnet man als liegende Kammern solche, deren Länge größer ist als die Höhe; als stehende Kammern solche, welche höher als lang sind. Diese Unterscheidung nach den räumlichen Verhältnissen allein ist nicht berechtigt, sondern es sollte die Bezeichnung nach der Strömungsrichtung erfolgen: liegende Kammern mit vorwiegend horizontaler, stehende Kammern mit vorwiegend vertikaler Strömung. In Abb. 33 u. 34 sind diese beiden Grenzfälle schematisch dargestellt, die Strömungswege sind für Gas bezw. Luft eingezeichnet; die Abgase bewegen sich in umgekehrter Richtung.

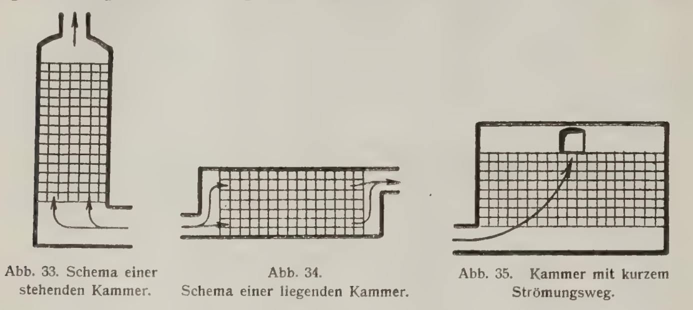


Abb. 33. Schema einer stehenden Kammer.

Abb. 34. Schema einer liegenden Kammer.

Abb. 35. Kammer mit kurzem Strömungsweg.

In bezug auf Unterbringung der Heizfläche und Ausnützung der Heizfläche für den Wärmeaustausch sind die beiden Anordnungen ungefähr gleichwertig. Die liegende Kammer hat den Vorteil, daß sie geringere Ausschachtungsarbeiten erfordert und weniger unter Grundwassergefahr zu leiden hat. Die stehende Kammer hat den Vorteil, daß der Auftrieb der zum Ofen strömenden heißen Medien größer ist. Da der Auftrieb zur Förderung der Verbrennungsluft, bei Generatoren mit natürlichem Zug auch für die Förderung des Gases notwendig ist, ist die Leistungsfähigkeit des Ofens von der Größe des Auftriebs abhängig. In dieser Beziehung ist also die stehende Kammer im Vorteil. Bei der Abführung der Abgase wirkt der Auftrieb in der Kammer dem Zug des Schornsteins entgegen, was bei der Bemessung der Schornsteinhöhe berücksichtigt werden muß.

Weder die liegenden noch die stehenden Kammern sind in den dargestellten Formen in der Glasindustrie zu finden, sondern die Strömung verläuft meist in mehr oder minder geneigter diagonaler Richtung zwischen Eintritts- und Austrittsöffnung. In den Abb. 35 bis 45 sind verschiedene Anordnungen schematisch dargestellt und die Hauptströmungswege für das Gas bezw. die Luft eingezeichnet.

Abb. 35 zeigt als Mangel kurzen Strömungsweg und sehr unvollkommene Ausnützung des Gitterwerks für die Strömung.

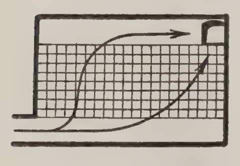


Abb. 36. Kammer mit langem Strömungsweg.

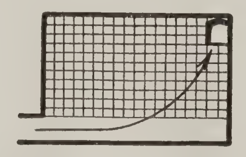


Abb. 37. Kammer ohne Gasraum über dem Gitterwerk.

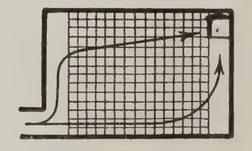


Abb. 38. Kammer mit seitlichen Gasräumen.

Bei Anordnung nach Abb. 36 ist eine Verbesserung erzielt dadurch, daß die Entfernung zwischen Ein- und Austrittsöffnung vergrößert ist.

In Abb. 37 ist über und neben dem Gitterwerk kein freier Raum vorhanden, wodurch die Verteilung der strömenden Medien über das Gitterwerk sehr ungleichmäßig ist und die Strömung in der Hauptsache nur den unter der Brennerkanalmündung liegenden Teil des Gitterwerks bestreicht. Durch Anordnung von freien Verteilungsräumen über dem Gitterwerk (Abb. 36) oder neben dem Gitterwerk (Abb. 38) wird die Ausnützung des Gitterwerks verbessert; die Anordnung nach Abb. 38 wird selten verwendet.

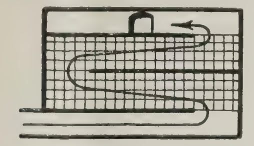


Abb. 39.
Kammer mit Querwänden.

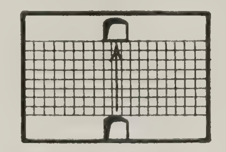


Abb. 40. Kammer mit Kanalmündungen in den Längswänden und kürzestem Strömungsweg.

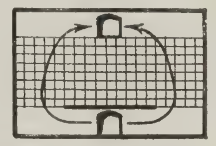


Abb. 41. Kammer mit Kanalmündungen und teilweiser Ueberdeckung der Unterkammer.

Abb. 39 zeigt, wie durch Einbau von Querwänden Verlängerung des Strömungsweges und beinahe vollständige Ausnützung der Kammern erzielt werden. Allerdings wird dadurch der Strömungswiderstand und der Zugverlust durch die Kammern vergrößert und die Gefahr der Verstopfung erhöht.

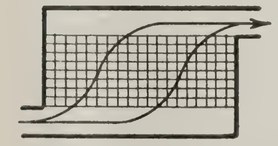


Abb. 42. Kammer mit Kanalmündungen in den Stirnwänden.

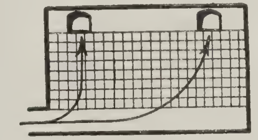


Abb. 43.
Kammer mit ungleicher Verteilung auf zwei Brennerkanäle.

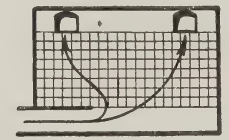


Abb. 44.
Kammer mit gleichmäßiger Verteilung auf zwei Brennerkanäle.

Bei den Abb. 35 bis 39 schließen die Wechselkanäle an die Stirnwand, die Kanäle zu den Brennern an die Seitenwand der Kammern an. Die bei dieser Anordnung angestellten Ueberlegungen gelten sinngemäß auch für Anordnungen, bei welchen sowohl Wechselals auch Brenner-Anschlußkanäle in den Längswänden oder in den Stirnwänden liegen. Abb. 40 zeigt den ungünstigsten Fall der ersten Art; in Abb. 41 ist dargestellt, wie durch kurze Ueberdeckung der Unterkammer die Ausnützung des Gitterwerks verbessert werden

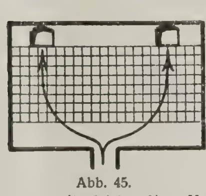


Abb. 45.
Kammer mit gleichmäßiger Verteilung auf zwei Brennerkanäle.

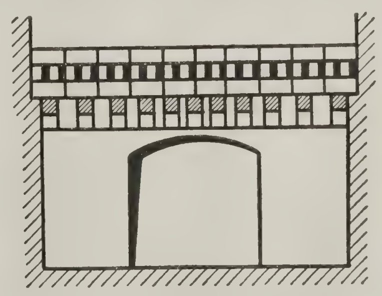


Abb. 46.
Ungleichmäßige Verteilung der Bogensteine.

kann. In Abb. 42 ist eine Kammer skizziert, bei welcher Wechselkanal und Brennerkanäle in den entgegengesetzten Stirnflächen liegen; es ergeben sich dabei verhältnismäßig günstige Strömungsverhältnisse.

Bei Oberflammöfen mit zwei Brennern an jeder Stirnseite ist darauf zu achten, daß die Verteilung von Gas und Luft auf die beiden Brenner gleichmäßig erfolgt. Abb. 43 zeigt eine häufig zu findende Anordnung, bei welcher die Verteilung ungleichmäßig ist, indem der dem Wechselkanal benachbarte Brenner stärker beliefert wird als der entfernter liegende. Abb. 44 zeigt, wie durch teilweise Ueberdeckung der Unterkammer die Verteilung gleichmäßiger gestaltet werden kann. Abb. 45 zeigt einen weiteren Vorschlag zur Verbesserung: der Wechselkanal mündet dabei nicht seitlich, sondern in der Mitte des Bodens der Unterkammer ein.

Die Verteilung der strömenden Medien über das Gitterwerk kann außer durch die im Vorhergehenden besprochenen Mittel auch durch entsprechende Einteilung der Bogensteine beeinflußt werden. Normalerweise liegen die Bogensteine in gleichen Abständen voneinander (Abb. 31). Hält man nun z. B. die Abstände über der Wechselkanalmündung geringer als an den Seiten (Abb. 46) derart, daß die Strömungswiderstände auf allen Linien zwischen Einström- und Abströmöffnung möglichst gleich groß sind, so verteilen sich die strömenden Gase gleichmäßig über das Gitterwerk. Aehnlich kann auch in anderen Fällen oft ein Ausgleich geschaffen werden.

30. Abmessungen der Gittersteine und Ausbildung des Gitterwerkes.

Wie schon erwähnt, hängt die Wirksamkeit des Gitterwerks nicht nur vom Gewicht, sondern in hohem Maß auch von der den Wärmeaustausch vermittelnden Oberfläche der Steine (Heizfläche) ab.

Die Größe der in einem bestimmten Kammerraum untergebrachten Heizfläche ist bedingt durch die Größe der einzelnen Steine, ihre Entfernung von einander, sowie die Art der Ausgitterung.

a) Größe der Steine.

Die gebräuchlichsten Steingrößen sind in den Zahlentafeln IV, V u. VI auf Grund der Umfrage der W. B. G. für eine größere Anzahl von Oefen zusammengestellt. Die Länge der einzelnen Steine beträgt meist 25 oder 50 cm; die gebräuchlichsten Querschnittsabmessungen sind in der Reihenfolge der Häufigkeit bei den statistisch bearbeiteten Oefen: 8 × 12, 10 × 10, 6 × 12, 7 × 12, 7 × 14, 8 × 15 und 8 × 16 cm; als kleinster Querschnitt findet man vereinzelt 6 × 6, größere als 8 × 16 werden nicht gefunden. Während die Länge der Steine keinen Einfluß auf die Heizfläche hat, wird die Heizfläche je cbm Gitterwerk um so größer, je kleiner die Querschnittsabmessungen der Steine sind. Der Wärmeaustausch erfolgt also bei Aussetzung der Kammern mit kleinen Steinen rascher, der Abgasverlust wird geringer, die Vorwärmung von Gas und Luft höher.

Das gilt aber nur so lange, bis die Steine mit Wärme gesättigt sind, d. h. bis die ganze Masse jedes Steines angenähert die gleiche Temperatur angenommen hat, wie die Steinoberfläche.

Sind die Steine gesättigt, so nehmen sie an dem Wärmeaustausch nicht mehr teil. Kleine Steine sind nun naturgemäß schneller gesättigt als große und daher muß die Länge der einzelnen Umsteuerperioden um so kürzer gewählt, also um so häufiger gewechselt werden, je kleiner die Steine sind. Da mit jedem Umsteuern Gasverluste verbunden sind, so gibt es für jeden Fall eine günstigste Dauer der Umsteuerperiode, welche durch Messung und Rechnung angenähert bestimmt werden kann.

Ein Nachteil der kleinen Steine ist ihre schnelle Zerstörung z. B. durch Abschmelzen, und die Gefahr der schnelleren Verstopfung der Gitterwerkskanäle durch Flugasche, Ruß, Gemengestaub usw.

b) Abstand zwischen den Steinreihen (Kanalweite).

Die Ausfüllung des Gitterwerksraumes mit Steinen ist in den Zahlentafeln IV, V und VI eingetragen. Sie liegt bei etwa der Hälfte aller Oefen in der Nähe von 50%, d. h. die Lücken zwischen zwei Steinreihen sind ungefähr so groß wie die Steinstärke (Abb. 47). Recht häufig beträgt die Ausfüllung auch etwa 33%, d. h. die Lücke ist doppelt so groß wie die Steinstärke; vereinzelt findet man 60% Ausfüllung (kleinere Lücken) und bei den großen Spiegelglasöfen 20 bis 28%.

Durch Vergrößerung des Abstandes wird das Gewicht je cbm Gitterwerk geringer, die Strömungsquerschnitte im Gitterwerk wachsen und die Gefahr der Verstopfung sinkt; andererseits aber nimmt die Heizfläche je cbm Gitterwerk ab; die umgekehrten Verhältnisse treten bei Verringerung des Abstandes der Steinreihen auf.

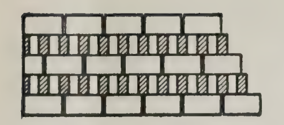


Abb. 47.
50 prozentige Ausfüllung des Gitterwerksraumes.

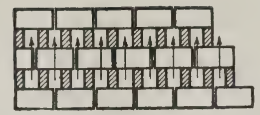


Abb. 48.
Gitterwerk mit senkrecht übereinander liegenden Lücken.

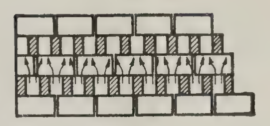


Abb. 49.
Gitterwerk mit versetzten Lücken.

c) Art der Ausgitterung.

In der Glasindustrie sind ausschließlich Rostpackungen gebräuchlich, bei welchen die einzelnen Steinreihen wie bei einem Gitter kreuzweise übereinander gestellt sind. Es können dabei die einzelnen Steinreihen der gleichen Richtung senkrecht übereinander angeordnet werden (Abb. 48) oder aber versetzt gegeneinander (Abb. 49).

Wie aus den Pfeilen in diesen Abbildungen ersichtlich ist, können sich bei senkrecht übereinander angeordneten Steinreihen die strömenden Medien in geraden Linien bewegen, während sie bei versetzten Reihen zickzackförmige Wege machen. Dadurch wird der Strömungsweg länger und die an dem Wärmeaustausch teilnehmende Heizfläche größer, die wärmespeichernde Wirkung des Gitterwerks also verbessert; andererseits aber wird die Reinigung erschwert, die Verstopfung beschleunigt.

31. Größe der Kammern, Berechnung auf Grund der Beziehungen zur Herdfläche.

a) Einfluß der Kammergröße.

Die zweckmäßige Bemessung der Kammern ist eine der wichtigsten Aufgaben des Ofenbaues, da werden Ofenbetrieb und Wirtschaftlichkeit der Glaserzeugung in stärkster Weise davon beeinflußt. Die Bemessung der Kammern muß so erfolgen, daß Vorwärmtemperaturen von Gas und Luft und Abgastemperatur innerhalb der zulässigen Grenzen liegen.

Die Vorwärmtemperatur muß mindestens so hoch sein, daß sie zur Erzielung der erforderlichen Ofentemperatur ausreicht, darf aber andererseits eine gewisse obere Grenze nicht überschreiten, um nicht unzulässig hohe Verbrennungstemperaturen zu bewirken. Wichtig ist auch, daß die Aenderung der Vorwärmtemperaturen innerhalb einer Umsteuerperiode nicht unzulässig groß sind, um die durch die periodische Betriebsweise bedingten Ungleichmäßigkeiten im Herdraum in zulässigen Grenzen zu halten.

Die Abgastemperaturen hinter den Kammern sind nach unten begrenzt durch die Bedingung, daß die erforderliche Zugstärke erhalten bleibt; sie dürfen aber auch nicht zu hoch sein, einmal um die Wechselorgane nicht unzulässig hohen Temperaturen auszusetzen, zum anderen, um unwirtschaftlich hohe Abgasverluste zu vermeiden.

Zu große Kammern ergeben zu hohe Vorwärmung und zu niedrige Abgastemperatur, zu kleine Kammern ergeben zu niedrige Vorwärmung und zu hohe Abgastemperaturen. Mit der Größe der Kammern wachsen ferner Anlage- und Unterhaltungskosten sowie die Gasverluste beim Umsteuern. In der Glasindustrie sind aber in der Regel die Kammern eher zu klein als zu groß. Für die zweckmäßigsten Grenzwerte der Kammergröße nach oben und unten ist man nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse auf die durch die Statistik gewonnenen praktischen Verhältniszahlen angewiesen. Gerade wegen der großen Bedeutung der Kammerbemessung ist es für den wissenschaftlich strebenden Ofenbauer schmerzlich, daß eine genaue Vorausberechnung in dem Sinne, daß für eine bestimmte Vorwärmung von Gas und Luft bezw. für eine bestimmte Abgastemperatur die erforderlichen Abmessungen mit Sicherheit angegeben werden können, nicht möglich ist, auch nicht bei richtiger Einhaltung der der Berechnung zugrunde gelegten Eingangstemperaturen von Gas, Luft und Abgasen. Die Ursachen dieses Versagens der theoretischen Behandlung liegen weniger in der Theorie selbst als in der Schwierigkeit, die zur Auswertung der theoretisch abgeleiteten Gleichungen notwendigen Zahlen meßtechnisch mit genügender Verläßlichkeit zu erfassen. Insbesondere ist es praktisch beinahe unmöglich, die Temperaturen der strömenden Gase und der Steinoberflächen getrennt festzustellen; weiter können

Strömungsquerschnitte und Größe der bestrichenen Wärmeaustauschflächen bei den gebräuchlichen Formen nicht festgestellt werden. Ferner ändern sich im Verlaufe der Betriebszeit des Ofens der bauliche Zustand und die den Wärmeaustausch beeinflussende Oberflächenbeschaffenheit der Füllung z. B. durch Verglasung der Steine. Schließlich ist der oft beträchtliche Einfluß der Wechselkanäle zwischen den Umsteuerorganen und den Kammern zahlenmäßig nicht genau zu verfolgen.

Die wichtigsten Größen bei der Berechnung der Wärmespeicher sind Heizfläche und Gewicht des Gitterwerks. Von der Heizfläche, d. i. die den Wärmeaustausch zwischen Steinen und Gasen bewirkende Fläche, hängen Vorwärmtemperaturen von Gas und Luft bezw. Abgastemperaturen am Fuße der Kammern ab. Von dem Gewicht des Gitterwerks, welches bei gegebener Heizfläche durch die Größe der Steine bedingt ist, hängen die Wärmespeicherfähigkeit des Gitterwerks und damit die Schwankungen der Temperaturen im Verlauf einer Umsteuerperiode ab. Da bei bestimmter Art der Ausgitterung feste Beziehungen zwischen Heizfläche, Gewicht und Rauminhalt des Gitterwerks bestehen, so wird meist nur eine dieser Größen berechnet; die anderen können daraus abgeleitet werden. — Für den Entwurf des Ofens ist ferner der Rauminhalt der Kammern von Belang.

b) Lineare Abmessungen der Kammern.

Die innere Höhe der Kammern von unterster Steinlage bis zum Gewölbescheitel beträgt nach der statistischen Zusammenstellung in den Zahlentafeln IV, V u. VI:

bei Büttenöfen meist 1,6 bis 2,0 m, nur vereinzelt mehr,
bei Schlitzöfen meist 1,8 bis 2,4 m, nur vereinzelt mehr,
bei den großen Oberflammöfen meist 2,0 bis 3,0 m.

Die Bedeutung einer ausreichenden Kammerhöhe für den Auftrieb zur Förderung von Luft bezw. auch von Gas ist bereits in Abschn. VII/29 erörtert: Beim Entwurf neuer Oefen sollte nicht unter die obere Grenze der angegebenen Werte gegangen werden, noch besser sind höhere Kammern vorzusehen. Zwischen oberster Steinlage des Gitterwerks und Gewölbe soll ein freier Gasraum zur Verteilung der strömenden Medien bleiben (vergl. Abschn. VII/29); die statistisch bearbeiteten Oefen zeigen sehr verschiedene Höhe dieses Abstandes von 0 bis über 1 m. Eine nicht zu knappe Bemessung des freien Gasraums ist schon aus dem Grund vorteilhaft, um im Bedarfsfall die Anzahl der Steinlagen des Gitterwerks vergrößern zu können.

Die innere Länge der Kammern liegt bei Büttenöfen meist zwischen 1,5 und 2,5 m, bei Schlitzöfen zwischen 2,0 und 2,8 m; bei den großen Oberflammöfen beträgt sie je nach Anordnung und Größe rd. 4,0 bis 9,0 m. Die innere Breite der Kammern beträgt normalerweise bei Büttenöfen 1,0 bis 1,2 m, bei Schlitzöfen 1,0 bis 1,5 m, bei Oberflammöfen 1,5 bis 2,0 m, vereinzelt bis 2,5 m. Die Gaskammern sind meist ebenso breit wie die Luftkammern, sollten aber vorteilhaft geringer als diese gehalten werden (vergl. Abschn. VII/33).

c) Beziehungen zwischen Heizfläche und Rauminhalt der Kammern einerseits und Herdfläche des Ofens andererseits.

Wie in Abschn. III/14 erörtert, ist der Wärmebedarf je qm Herdfläche ziemlich unabhängig von der Ofengröße und daher sind auch Gas- und Luftmenge, sowie die erforderliche Wärmeleistung der Kammern für bestimmte Vorwärmtemperaturen angenähert proportional der Herdfläche des Ofens; die Heizfläche der Kammern soll daher in gleichem Verhältnis mit der Herdfläche wachsen. Eine geringe Verkleinerung ist mit der Begründung zulässig, daß die verhältnismäßigen Wärmeverluste durch Abkühlung der Wände bei großen Kammern weniger beträchtlich sind als bei kleinen Kammern. Die Statistik zeigt aber, daß insbesondere bei Bütten- und Schlitzöfen die Kammern im Verhältnis zur Herdfläche mit wachsender Ofengröße nicht genügend vergrößert werden.

Für die statistisch bearbeiteten Oefen sind in den Zahlentafeln IV, V u. VI die Verhältnisse zwischen Heizfläche des Gitterwerks für ein Kammerpaar und Herdfläche, sowie zwischen Rauminhalt eines Kammerpaares und Herdfläche eingetragen. Die Streuung der Werte ist außerordentlich stark; bei den meisten Bütten- und Schlitzöfen kommen etwa 7 bis 15 qm Gitterwerksheizfläche auf 1 qm Herdfläche, bei den Oberflammöfen liegt dieses Verhältnis meist zwischen 10 und 18 qm, vereinzelt sind höhere Werte, bis etwa 20 qm zu finden.

Für den Entwurf neuer Oefen empfiehlt es sich, mit der Heizfläche bis an die oberen Grenzwerte zu gehen, da erfahrungsgemäß die Kammern der Glasschmelzöfen meist zu klein sind. Mit 15 bis 20 qm Heizfläche/qm Herdfläche kann von einer Ueber-

bemessung der Kammern noch keinesfalls die Rede sein, auch wenn man die viel größeren Kammern der Stahlschmelzöfen nicht zum Vergleich heranzieht; einer unwillkommen hohen Vorwärmung von Gas und Luft kann z. B. durch Entfernung einiger Steinlagen leicht abgeholfen werden.

Das Verhältnis des Rauminhalts für ein Kammerpaar (eine Gas- und eine Luftkammer) zur Herdfläche des Ofens schwankt nach den Zahlentafeln IV, V u. VI bei den meisten Bütten- und Schlitzöfen zwischen etwa 0,5 und 1,0 cbm/qm, bei den großen Oberflammöfen für Spiegelglas zwischen etwa 0,9 und 1,6 cbm/qm. Beim Entwurf neuer Oefen wird man auch hier an die obere Grenze gehen.

d) Berechnungsbeispiel.

Für den als Berechnungsbeispiel (Abschn. V/21) behandelten Büttenofen mit 13 qm Herdfläche und einer Glasentnahme von 3000 kg/24 Std. ergeben sich mit den oben angeführten Verhältniszahlen folgende Werte:

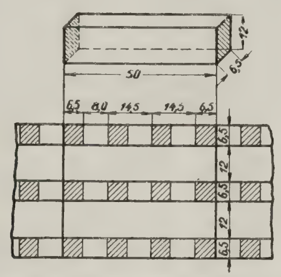


Abb. 50.

Kammerstein-Abwicklung.

Die Heizfläche des Gitterwerks wird rd. 15 mal so groß angenommen als die Herdfläche des Ofens, wird also betragen 15 . 13 = 195 qm für eine Gas- und eine Luftkammer zusammen. Für das Gitterwerk werden Steine verwendet von 50 cm Länge, 12 cm Höhe und 6,5 cm Breite. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Steinen sei mit 8 cm etwas größer als die Steinbreite angenommen. In Abb. 50 ist ein Stein und die Abwicklung seiner Oberfläche (von den seitlichen Stoßflächen abgesehen) dargestellt; die verdeckten Teile der Steinoberflächen sind in der Abwicklung schraffiert. Das Verhältnis des Rauminhalts der Steine zum Inhalt des ausgegitterten Raumes beträgt

$$6{,}5 : (6{,}5 + 8{,}0) = \text{rd. } 0{,}45$$

und liegt damit zwischen den üblichen Grenzen von etwa 40 bis 50%. Das Verhältnis des freien zum Gesamtinhalt der oberen und unteren Steinflächen ist

$$8{,}0 : (6{,}5 + 8{,}0) = 0{,}55.$$

Die Heizfläche eines Steines beträgt demnach

$$2 \,.\, (50 \,.\, 12 + 0{,}55 \,.\, 50 \,.\, 6{,}5) = 1560 \text{ qcm}.$$

Bei einer Gesamtheizfläche von 195 qm sind daher erforderlich

$$195 : 0{,}1560 = 1250 \text{ Steine},$$

für eine Gas- und eine Luftkammer zusammen. Der Rauminhalt eines Steines beträgt

$$50 \,.\, 12 \,.\, 6{,}5 = 3900 \text{ ccm} = 3{,}9 \text{ cdm}.$$

Der Rauminhalt von 1250 Steinen ist

$$1250 \,.\, 3{,}9 = \text{rd. } 4900 \text{ cdm} = 4{,}9 \text{ cbm}.$$

Mit dem oben berechneten Verhältnis von 0,45 ergibt sich daraus der Inhalt des ausgegitterten Raumes zu

$$4{,}9 : 0{,}45 = 10{,}9 \text{ cbm}$$

für eine Gas- und eine Luftkammer zusammen.

Das Verhältnis des Gitterwerksraumes zur Herdfläche liegt mit

$$10{,}9 : 13 = \text{rd. } 0{,}84 \text{ cbm/qm}$$

an der oberen Grenze der in den Zahlentafeln IV, V u. VI für die statistisch behandelten Oefen angegebenen Werte. Das Verhältnis der Heizfläche zum Rauminhalt ist

$$195 : 10{,}9 = 17{,}9 \text{ qm/cbm}.$$

Es liegt innerhalb der Grenzen der für die bearbeiteten Oefen ermittelten Werte.

Mit einem mittleren spezifischen Gewicht des verwendeten Schamottematerials von 1,85 kg/cdm ergibt sich das Gewicht des Gitterwerkes in einer Gas- und einer Luftkammer zusammen zu

$$1250 \,.\, 3{,}9 \,.\, 1{,}85 = 9000 \text{ kg}.$$

Das Verhältnis der Heizfläche zum Gewicht beträgt

$$195 : 9 = 21{,}7 \text{ qm}/1000 \text{ kg Gitterwerk}.$$

Für die Aufteilung der berechneten Werte auf Gas- und Luftkammer wird ein Verhältnis von 1 : 1,5 angenommen. Die Gaskammer wird also im Verhältnis zur Luftkammer etwas kleiner gehalten als üblich, entsprechend den Erörterungen in Abschn. VII/33. Der Inhalt des ausgegitterten Raumes in einer Gaskammer errechnet sich daraus zu

$$10{,}9 : (1 + 1{,}5) = 4{,}35 \text{ cbm}.$$

Der Inhalt des ausgegitterten Raumes in einer Luftkammer beträgt

$$10{,}9 \,.\, (1{,}5 : 2{,}5) = 6{,}55 \text{ cbm}.$$

Das Gitterwerk in beiden Kammern soll aus 18 über einander liegenden Steinlagen bestehen; es erhält daher eine Höhe von

$$18 \,.\, 12 = 2{,}16 \text{ m}.$$

Die Länge der Gas- und Luftkammer sei gleicherweise mit 2,0 m angenommen. Damit errechnet sich die Breite der Gaskammer zu

$$4{,}35 : 2{,}16 \,.\, 2{,}0 = \text{rd. } 1{,}0 \text{ m}.$$

Die Breite der Luftkammer wird

$$6{,}55 : 2{,}16 \,.\, 2{,}0 = 1{,}5 \text{ m}$$

betragen.

Ueber dem Gitterwerk sei ein auf prismatische Form umgerechneter freier Raum von 0,5 m Höhe vorhanden. Der Rauminhalt der Gaskammer muß dann betragen

$$1{,}0 \,.\, 2{,}0 \,.\, (2{,}16 + 0{,}5) = 5{,}32 \text{ cbm}$$

der Raum der Luftkammer

$$1{,}5 \,.\, 2{,}0 \,.\, (2{,}16 + 0{,}5) = 8{,}00 \text{ cbm}.$$

Das Verhältnis des Rauminhaltes einer Gas- und einer Luftkammer zusammen zur Herdfläche des Ofens beträgt

$$(5{,}32 + 8{,}0) : 13 = 1{,}03.$$

Auch dieser Wert liegt entsprechend der Tendenz der Rechnung etwa an der oberen Grenze der für Büttenöfen gebräuchlichen Werte.

32. Verschiedene andere Arten der Kammerberechnung.

Zum Vergleich mit der in Abschn. VII/31 c und d gezeigten Berechnung sollen verschiedene andere Arten beispielmäßig besprochen und auf ihre Brauchbarkeit geprüft werden.

a) Berechnung der Heizfläche auf Grund der spezifischen Wärmebelastung.

Als spezifische Heizflächenbelastung der Kammern sei die auf 1 qm der Gitterwerksheizfläche für ein Kammerpaar (eine Gas- und eine Luftkammer) bezogene durchschnittliche Brennstoffwärme je Stunde Gesamtdauer bezeichnet. Diese Zahl darf nicht verwechselt werden mit der tatsächlich durch 1 qm Gitterwerksfläche stündlich bewegten Wärmemenge, die wohl ein viel geeigneterer Maßstab wäre, aber praktisch nur sehr schwer nachzuprüfen ist. Für die statistisch bearbeiteten Oefen sind die Werte der oben definierten spezifischen Heizflächenbelastung in den Zahlentafeln VII, VIII und IX eingetragen; sie zeigen sehr starke Unterschiede je nach dem Verhältnis der Kammern zum Oberofen und der spezifischen Herdflächenbelastung; die meisten Kammern sind mit 8000 bis 16 000 Brennstoff-WE/qm Gitterwerksheizfläche/Std. belastet; vereinzelt kommen aber auch bei besonders kleinen Kammern Werte bis etwa 30 000 WE vor. Nimmt man nach Abschn. III/14 (Abb. 12) die spezifische Wärmebelastung der Herdfläche mit 90 000 bis 160 000 WE/qm/Std. an und geht mit dem Verhältnis der Gitterwerksheizfläche zur Herdfläche nach Abschn. VII/31/c auf 15 bis 20, so errechnen sich als gut brauchbare Werte für die spezifische Heizflächenbelastung 90 000 : 15 = 6000 bis 160 000 : 20 = 8000 WE/qm/Std. Für den als Beispiel behandelten Hohlglasbüttenofen von 13 qm Herdfläche mit einer Schmelzleistung von 125 kg Glas/Std. und einem spezifischen Wärmeverbrauch von 12 200 WE/kg Glas (nach Abb. 13) ergibt sich ein Wärmeverbrauch von 125 . 12 200 = 1 520 000 WE/Std. Die zweckmäßige Gitterwerksheizfläche eines Kammerpaares wurde in Abschn. VII/31d zu 195 qm errechnet; die entsprechende Heizflächenbelastung beträgt 1 520 000 : 195 = 7800 WE/qm/Std., liegt also innerhalb der oben angegebenen Grenzen.

Diese Berechnungsart erscheint bei Verwendung brauchbarer Normalwerte, wie sie sich aus den statistischen Unterlagen ergeben, als durchaus zweckmäßig; sie ist jedoch an Einfachheit der Berechnung auf Grund des Verhältnisses zur Herdfläche unterlegen und kann deshalb besonders dort entbehrt werden, wo die Herdfläche aus den Werten für spezifische Schmelzleistung und spezifischen Wärmeverbrauch berechnet wird.

b) Berechnung des Kammerrauminhalts auf Grund der Aufenthaltszeit der Gase.

Eine häufig verwendete Berechnungsart geht davon aus, daß der freie Inhalt der Kammer und des ausgegitterten Raumes so groß sein müssen, daß die strömenden Medien sich eine bestimmte vorgeschriebene Zeit darin aufhalten, in welcher der erforderliche Wärmeübergang vor sich gehen kann. Nach Toldt (vergl. auch Dralle, Bd. I, S. 511) sollen die Aufenthaltszeiten mindestens betragen:

Gas in der Gaskammer 4 Sek; im Gitterwerk 3 Sek.,
Luft in der Luftkammer 5 Sek., im Gitterwerk 3 Sek.

Für den als Beispiel behandelten Büttenofen mit einer täglichen Schmelzleistung von 3000 kg Glas, d. i durchschnittlich 125 kg/Std. beträgt bei einem spezifischen Wärmeverbrauch von 12 200 WE/kg Glas der Verbrauch an Braunkohlenbriketts mit einem unteren Heizwert von 4500 WE/kg durchschnittlich

125 . 12 200 : 4500 = rd. 340 kg Briketts/Std.

Bei mittlerer Zusammensetzung des Generatorgases kann man mit einer Gasausbeute von rd. 3,0 cbm Gas/kg Briketts (bezogen auf 0° und 760 mm Q.—S.) rechnen; die Verbrennungsluftmenge kann bei etwa 12% Luftüberschuß mit rd. 3,7 cbm/kg Briketts angenommen werden. Die sekundlichen Mengen der strömenden Medien auf 0° und 760 mm Q.—S. bezogen, betragen dann:

340 . 3 : 3600 = 0,283 cbm Gas/Sek. und 340 . 3,7 : 3600 = 0,350 cbm Luft/Sek.

Zur Berechnung des wahren Rauminhalts müssen die Temperaturen angenommen werden. Es sollen haben:

Gas am Kammerfuß 500° C, am oberen Kammerende 900° C, im Mittel also 700° C;
Luft am Kammerfuß 450° C, am oberen Kammerende 1150° C, im Mittel also 800° C.

Die Rauminhalte der strömenden Medien bei den mittleren Temperaturen betragen:

0,283 (700 + 273) : 273 = 1,00 cbm Gas/Sek.
0,350 (800 + 273) : 273 = 1,38 cbm Luft/Sek.

Nach der Berechnung in Abschn. VII/31 d sollen betragen:

Der Rauminhalt einer Gaskammer 5,32 cbm, des Gitterwerks in ihr 4,35 cbm,
„ „ „ Luftkammer 8,00 „ „ „ „ „ 6,55 „

Der Ausfüllungsfaktor des Gitterwerks wurde mit 0,45 errechnet.

Das Steinvolumen der Gaskammer ist daher 0,45 . 4,35 = 1,96 cbm,
„ „ „ Luftkammer „ „ 0,45 . 6,55 = 2,95 „

Die für die Strömung zur Verfügung stehenden Räume betragen daher:

In der Gaskammer 5,32 — 1,96 = 3,36 cbm, im Gitterwerk 4,35 — 1,96 = 2,39 cbm,
In der Luftkammer 8,00 — 2,95 = 5,05 cbm, im Gitterwerk 6,55 — 2,95 = 3,60 „

Damit errechnen sich die Aufenthaltszeiten wie folgt:

Gas in der Gaskammer 3,36 : 1,00 = 3,36 Sek., im Gitterwerk 2,39 : 1,00 = 2,39 Sek.,
Luft in der Luftkammer 5,05 : 1,38 = 3,66 Sek., im Gitterwerk 3,60 : 1,38 = 2,60 Sek.

Die sich ergebenden Zeiten sind also etwas kürzer als die von Toldt verlangten Werte, d. h. die Kammern erscheinen zu klein, wobei aber zu berücksichtigen ist, daß die Unterlagen Toldts vorwiegend der Stahlindustrie entstammen, und die Siemens-Martin-Stahlöfen wegen der höheren Schmelztemperatur wesentlich größere Kammern aufweisen als die Glasöfen. Aber auch bei Verwendung zweckmäßiger Normalwerte der Aufenthaltsdauer für Glasöfen erscheint diese Berechnungsart wegen der großen Anzahl unsicherer Annahmen nicht als brauchbar, abgesehen davon, daß die Ableitung von Normalwerten insbesondere wegen der Schwierigkeiten der Temperaturmessungen von Gas und Luft in den Kammern wenig verläßlich wäre.

c) Berechnung der Heizfläche auf Grund der Wärmeübergangszahlen.

Als Wärmeübergangszahl bezeichnet man die Wärmemenge, welche je qm Wärmeaustauschfläche bei einer Temperaturdifferenz von 1° C zwischen Gas bezw. Luft und Steinoberfläche in 1 Std. übertragen wird. Nachrechnung und Angaben in der Literatur zeigen wilde Schwankungen zwischen etwa 10 und 60; sie sind z. T. begründet durch die Verschiedenheiten der Temperaturmeßverfahren, des Temperaturbereiches, der Verschiedenheit in der Anordnung der Kammern und anderer Faktoren. Tafel empfiehlt in seinem Buche: „Wärme und Wärmewirtschaft der Kraft- und Feuerungsanlagen in der Industrie“, 1924, München und Berlin, Verlag R. Oldenbourg, S. 171, für neue Oefen mit einem Mittelwert von 25 bis 30 WE zu rechnen; etwas geringere Werte gibt Heiligenstaedt an in Mitt. Nr. 73 der Wärmestelle Düsseldorf „Die Speicherung der Wärme in Regeneratoren“.

Die Durchrechnung des behandelten Beispiels eines Büttenofens für eine Glasentnahme von 3000 kg/24 Std. ergibt folgendes:

Frischgasmenge: 3,0 nm³/kg Briketts . 340 kg Brik./Std. = 1020 nm³ Gas/Std.,
Verbrennungsluftmenge: 3,7 nm³/kg Briketts . 340 kg Brik./Std. = 1260 nm³ Luft/Std.
Die Abgasmenge errechnet sich bei der Raumverminderung durch die Verbrennung von 18% des Gasvolumens zu

$$1020 \cdot 0{,}82 + 1260 = \text{rd. } 2100 \text{ nm}^3 \text{ Abgas/Std.}$$

Die vom Gas bei einer angenommenen Vorwärmung von 500° auf 900° C in der Kammer aufzunehmende Wärmemenge ist bei einer spezifischen Wärme von 0,35 gleich

$$1020 \cdot 0{,}35 \cdot (900 - 500) = 143\,000 \text{ WE/Std.}$$

Die von der Luft bei einer angenommenen Vorwärmung von 450° auf 1150° C in der Kammer aufzunehmende Wärme ist bei einer spezifischen Wärme der Luft von 0,33 gleich

$$1260 \cdot 0{,}33 \cdot (1150 - 450) = 290\,000 \text{ WE/Std.}$$

Nimmt man einen Wärmeverlust von 20% durch Abkühlung der Kammerwände an, so müssen die Abgase in der Gaskammer eine Wärmemenge abgeben von

$$1{,}20 \cdot 143\,000 = 172\,000 \text{ WE/Std.},$$

die Wärmeabgabe in der Luftkammer beträgt

$$1{,}20 \cdot 290\,000 = 348\,000 \text{ WE/Std.}$$

Die gesamte in den Kammern abgegebene Abgaswärme ist als Summe 520 000 WE/Std.

Die Abgastemperatur beim Eintritt in die Kammern sei mit 1400° C angenommen. Die Temperatur t der Abgase beim Austritt aus dem Gitterwerk errechnet sich bei einer spezifischen Wärme der Abgase von 0,34 aus der Gleichung

$$2100 \cdot 0{,}34\,(1400 - t) = 520\,000 \text{ zu } t = 670^0 \text{ C}$$

Dieser Wert gilt sowohl für Gas- als für Luftkammer, wenn eine Verteilung der Abgasmengen im Verhältnis der abzugebenden Wärmemengen angenommen wird.

Mit der (recht strittigen) Voraussetzung von T a f e l, daß der Temperaturunterschied zwischen Abgasen und Steinoberfläche ebenso groß sei, wie zwischen Steinoberfläche und Frischgas bezw. Luft, ergeben sich diese Temperaturunterschiede in folgender Höhe:

Gaskammer oben . . . $0{,}5 \cdot (1400 - 900) = 250^0$ C,
Gaskammer unten . . . $0{,}5 \cdot (670 - 500) = 85^0$ C,
Luftkammer oben . . . $0{,}5 \cdot (1400 - 1150) = 125^0$ C,
Luftkammer unten . . . $0{,}5 \cdot (670 - 450) = 110^0$ C.

Das mittlere Temperaturgefälle zwischen Stein und Frischgas beträgt daher

$$0{,}5 \cdot (250 + 85) = 167{,}5^0 \text{ C},$$

das mittlere Temperaturgefälle zwischen Stein und Verbrennungsluft beträgt

$$0{,}5 \cdot (125 + 110) = 117{,}5^0 \text{ C}.$$

Unter Annahme einer Wärmeübergangszahl von 20 für die Luft und von 22 für das stärker strahlende Gas ergibt sich die erforderliche Heizfläche des Gitterwerks für die Gaskammer zu

$$172\,000 : 22 \cdot 167{,}5 = \text{rd. } 47 \text{ qm}$$

für die Luftkammer zu

$$348\,000 : 20 \cdot 117{,}5 = 148 \text{ qm}$$

Die Heizfläche des Gitterwerks
für ein Kammerpaar ist als Summe . . . = 195 qm.

Derselbe Wert ergab sich bei der Berechnung der Heizfläche aus dem Verhältnis zur Herdfläche des Ofens, was allerdings auf die darauf hinzielende Wahl der Annahmen zurückzuführen ist. Die Verteilung auf Gas- und Luftkammer weicht allerdings von den sonst üblichen Werten sehr stark ab (vergl. Abschn. VII/33). Die Berechnung der Heizfläche mit Hilfe der Wärmeübergangszahlen ist wohl die theoretisch befriedigendste, leidet aber unter der Unsicherheit der zahlreichen Annahmen in ihrer Verläßlichkeit derart, daß sie praktisch kaum brauchbar erscheint; ganz abgesehen von ihrer verhältnismäßigen Umständlichkeit.

Einfacher, aber noch anfechtbarer ist eine andere von T o l d t angegebene Berechnungsart (vergl. auch D r a l l e, Bd. I, S. 511), wonach für 1 cbm Gas bezw. Luft im Normalzustand (0° C und 760 mm Q. S.) je Sek. und 100° C Temperaturerhöhung im Wärmespeicher ein Kammervolumen von 6 cbm und ein Gitterwerksgewicht von 2850 kg erforderlich sind. Es ergeben sich damit wesentlich höhere Werte als für Glasschmelzöfen zweckmäßig sind; die Ableitung von besser passenden Normalwerten scheitert an den bereits erwähnten Meßschwierigkeiten.

33. Verhältnis der Abmessungen von Gas- und Luftkammer.

Wie aus den Zahlentafeln IV, V u. VI zu entnehmen ist, sind bei den meisten Oefen Gas- und Luftkammern gleich groß, nur vereinzelt wird die Luftkammer etwas

größer gehalten, maximal um etwa 25%. Nach neueren Erfahrungen und Untersuchungen erscheint es aber wünschenswert, das Verhältnis von Luftkammer zu Gaskammer höher zu halten, und zwar aus folgenden Gründen:

a) Die Vorwärmung des Gases soll niedriger sein als die Vorwärmung der Luft, um eine stärkere Zersetzung der Kohlenwasserstoffe des Gases zu vermeiden und um die Gaskammer, deren Dichtheit wichtiger ist als die der Luftkammer, zu schonen.

b) Während die Förderung des Frischgases in den Ofen bei mangelndem Auftrieb in den Kammern durch den vom Winddruck an den Generatoren abhängigen Gasdruck beliebig unterstützt werden kann, ist für die Förderung der Verbrennungsluft in den Ofen der Auftrieb in der Luftkammer allein maßgebend; die Zuführung der Verbrennungsluft durch Ventilator wird nur ganz vereinzelt vorgenommen. Der Auftrieb in der Luftkammer ist abhängig von der Höhe der Kammer und der mittleren Temperatur der Luft in der Kammer. Da Luftmangel, insbesondere gegen das Ende der Ofenreise zu, ein häufig vorkommender Fehler bei Glasschmelzöfen ist, so empfiehlt es sich, auch aus diesem Grunde die Abgaswärme in verstärktem Maße zur Luftvorwärmung zu benützen, um die durch Luftmangel eintretenden Störungen zu vermeiden. Die Grenze der Temperatur, bei deren Ueberschreitung die geförderte Luftmenge durch Verringerung des spezifischen Gewichtes wieder zu sinken beginnt, wird am besten durch Abgasanalysen ermittelt.

c) Nach neueren Feststellungen erfolgt der Wärmeübergang zwischen Frischgas und Kammersteinen wegen der Eigenstrahlung des Gases, insbesondere der Kohlensäure und des Wasserstoffes, bei gleichem Temperaturgefälle wesentlich lebhafter als zwischen Luft und Steinen, sodaß man für gleiche Wärmeleistung in der Gaskammer mit geringeren Heizflächen auskommt als in der Luftkammer.

Nach diesen Erörterungen erscheinen in normalen Fällen etwa folgende Verhältnisse von Heizfläche und Rauminhalt der Gaskammer zu den entsprechenden Größen der Luftkammer empfehlenswert, wobei allerdings die Aenderung gegenüber dem bisherigen Zustand nicht etwa durch Verkleinerung der Gaskammer, sondern durch Vergrößerung der meist zu kleinen Luftkammer zu erfolgen hätte.

Bei Betrieb mit Steinkohlen:

Gaskammer : Luftkammer = 1 : 2,0.

Bei Betrieb mit Briketts:

Gaskammer : Luftkammer = 1 : 1,5.

Bei Betrieb mit böhmischer Braunkohle:

Gaskammer : Luftkammer = 1 : 1,3.

Bei Betrieb mit Rohbraunkohle:

Gaskammer : Luftkammer = 1 : 1,2.

Für Steinkohle kann die Gaskammer im Verhältnis zu den anderen Brennstoffarten geringer gehalten werden, weil die Gase schon mit verhältnismäßig höherer Eigentemperatur zur Kammer gelangen und bei gleichem Wärmeinhalt die Menge des Gases wegen des geringeren Feuchtigkeitsgehaltes kleiner ist als bei den anderen Brennstoffen.

Ein vollständiger Verzicht auf die Gasvorwärmung wird wegen der Vereinfachung durch den Wegfall der Gaskammern vereinzelt empfohlen, liegt aber bei keinem der statistisch behandelten Oefen vor. Im allgemeinen erscheint bei Regenerativöfen der Verzicht auf die Gaskammern nicht berechtigt, da die Vereinfachung und Verbilligung der Bauart keinen Ausgleich für die Erhöhung der laufenden Schornsteinverluste in den Abgasen bietet; die Ausnützung der Abgaswärme zur Vorwärmung der Luft allein kann nicht in gleichem Maße erfolgen wie für Gas und Luft.

Anders liegen die Verhältnisse bei Rekuperativöfen, bei welchen wegen der schlechteren Wärmeübertragung die ausnutzbare Abgaswärme meist kaum zu einer genügend hohen Luftvorwärmung ausreicht.

Erwägenswert wäre der Wegfall der Gaskammern bei Anschluß eines Abhitzekessels. Die Abgase brauchen dann nur durch die Luftkammer zu strömen und gelangen mit entsprechend hoher Temperatur zum Kessel, dessen Dampfleistung mit wachsender Temperatur außerordentlich schnell ansteigt; der größere Abgasverlust des Ofens wird dann durch den größeren Gewinn im Kessel weit mehr als ausgeglichen.

34. Lage der Kammern.

Die gegenseitige Lage der Kammern zu einander, zum Oberofen und zu den Wechselorganen ist auch bei gleichen Abmessungen und gleicher Gestaltung der einzelnen Teile nicht ohne Einfluß auf den Ofengang.

a) Gebräuchlichste Anordnungen bei Bütten- und Schlitzöfen.

Die gebräuchlichsten Anordnungen für Hafenöfen mit Brennern im Boden, also für Bütten- und Schlitzöfen sind in den Abb. 51 bis 54 schematisch dargestellt. Die Wechselkanäle sind zur Stirnseite der Kammern geführt, was im allgemeinen günstigere Strömungsverhältnisse ergibt als bei Einmündung in die Längswände.

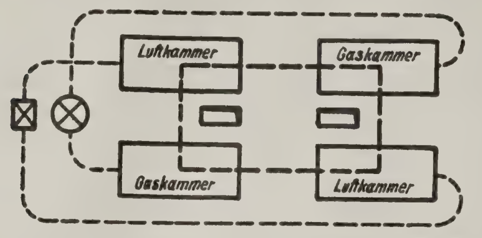


Abb. 51.
Büttenofen
mit überkreuzliegenden
Kammern
parallel zur Längsachse.

Abb. 51 zeigt einen Ofen, bei welchem Kammern gleicher Art einander diagonal gegenüber liegen (über Kreuz), und bei welchem die Längsachsen des Ober- und des Unterofens zusammenfallen.

Abb. 52 zeigt gleichfalls einen Ofen mit über Kreuz liegenden Kammern, bei welchem aber der Oberofen quer zum Unterofen liegt.

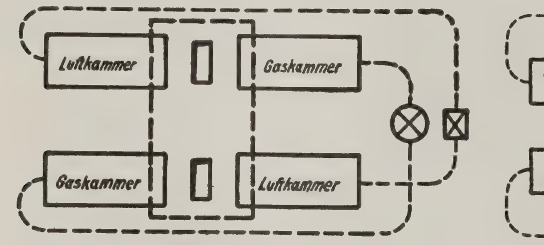


Abb. 52. Büttenofen mit überkreuzliegenden Kammern quer zur Längsachse.

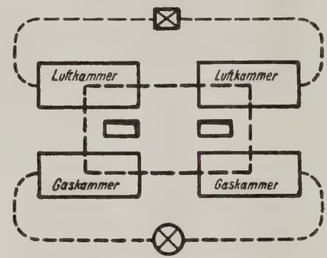


Abb. 53. Büttenofen mit gleichliegenden Kammern parallel zur Längsachse.

Abb. 53 zeigt einen Ofen, bei welchem Kammern gleicher Art nebeneinander liegen und die Längsachsen von Ober- und Unterofen zusammenfallen. Gas- und Luftwechsel liegen auf verschiedenen Seiten, können aber auch auf ein und derselben Seite angeordnet werden, wobei sich allerdings für das entfernter liegende Kammerpaar längere Wechselkanäle ergeben.

Abb. 54 zeigt gleichfalls einen Ofen mit gleichliegenden Kammern, bei welchem aber der Oberofen quer zum Unterofen liegt. Auch hier ergeben sich bei Lage der Wechsel auf verschiedenen Seiten kürzere Wechselkanäle.

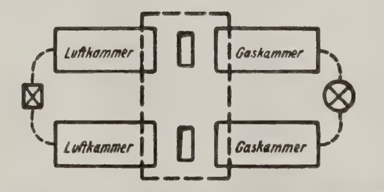


Abb. 54.
Büttenofen
mit gleichliegenden
Kammern
quer zur Längsachse.

b) Vergleich der Anordnung mit kreuzweise und gleichliegenden Kammern.

Die Anordnung der Kammern über Kreuz hat den Nachteil, daß die Wechselkanäle zwischen den Umsteuervorrichtungen und den Kammern verschieden lang sind; die zu der

einen Ofenseite führenden Gas- und Luft-Wechselkanäle sind länger als die zur anderen Ofenseite führenden Kanäle. Die schädliche Wirkung dieser Ungleichheit auf den Ofengang ist im Abschn. X/50 erörtert. Bei Einmündung der Wechselkanäle in die Seitenwände der Kammern sind die Längenunterschiede geringer, die Strömungswege in den Kammern aber kürzer und daher die Ausnützung der Heizfläche ungünstiger.

Ein Vorteil der kreuzweisen Anordnung liegt bei Büttenöfen darin, daß die durch ungleichmäßige Mischung von Gas und Luft in den Bütten entstehende Ungleichheit der Wärmeverteilung auf den beiden Längsseiten des Ofens sich durch den Wechsel der Perioden ausgleichen kann.

Bei Schlitzöfen, wo sich die erwähnten Ungleichheiten weniger oder gar nicht zeigen, erscheint die Anordnung der Kammern über Kreuz nicht gerechtfertigt.

c) Vergleich der Anordnungen mit quer- und gleichliegendem Ober- und Unterofen.

Welche der beiden Anordnungsmöglichkeiten gewählt wird, hängt von den räumlichen Verhältnissen ab. Die Unterschiede der Anordnungen wirken sich im Betrieb nur unwesentlich aus; im einzelnen können folgende Punkte erwähnt werden: Der querliegende Oberofen ermöglicht die Anordnung kürzerer Wechselkanäle, falls die Wechsel-Organe auf verschiedenen Seiten des Ofens liegen. In Abschn. X/48 ist erörtert, daß es mit Rücksicht auf den schlechten Wirkungsgrad der Wechselkanäle als Wärmespeicher günstiger ist, die Wechselkanäle kurz und dafür die Kammern größer zu halten.

Ein weiterer Vorteil des querliegenden Oberofens ist der zwanglose Verlauf der Strömung in den Kammern bei Einmündung der Wechselkanäle und der zum Brenner führenden Kanäle in die Stirnseiten der Kammern.

Ein Nachteil des querliegenden Oberofens ist, daß die Kammern den Boden an den Längswänden des Oberofens stärker erwärmen, als bei längsliegendem Oberofen, was für die Glasarbeiter lästig werden kann.

d) Gebräuchlichste Anordnung bei Oberflammöfen.

Es sind im allgemeinen zwei Anordnungen gebräuchlich, welche in Abb. 55 u. 56 schematisch dargestellt sind; die Wechselvorrichtungen liegen auf verschiedenen Seiten, können aber auch auf derselben Seite angeordnet werden, wobei sich allerdings längere Wechselkanäle für das entfernter liegende Kammerpaar ergeben.

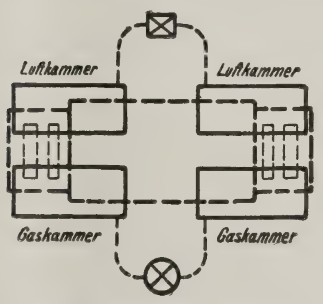


Abb. 55. Oberflammofen mit Kammern parallel zur Längsachse.

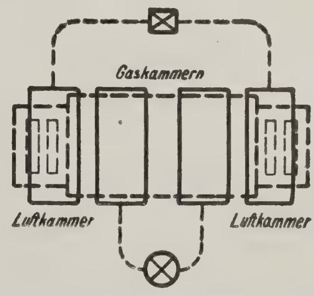


Abb. 56. Oberflammofen mit nebeneinander und querliegenden Kammern.

In Abb. 55 liegen Ober- und Unterofen parallel und gleichartige Kammern nebeneinander.

In Abb. 56 liegen alle vier Kammern nebeneinander quer zum Oberofen. Bei Anordnung mit längsliegenden Kammern besteht die Gefahr der ungleichmäßigen Mischung von Gas und Luft in den Brennern, vergl. Abschn. VIII/37 c.

Die Anordnung mit querliegenden Kammern eignet sich besonders für Oefen mit langem Herdraum und ergibt ohne weiteres einen geichmäßigen Gang der beiden Ofenseiten; sie hat aber den Nachteil, daß die Ausnützung der Kammern für die Strömung bei der gebräuchlichen Anordnung unvollkommen ist wegen des geringen Abstandes zwischen Einström- und Ausströmöffnung.

VIII. Brenner.

35. Aufgabe und Bauarten der Brenner.

Die Brenner haben bekanntlich in erster Linie die Aufgabe, die Mischung des gasförmigen Brennstoffs mit der Verbrennungsluft vorzubereiten oder durchzuführen, und Gas und Luft bezw. die Flamme so in den Herdraum des Ofens zu führen, daß die Verbrennung in zweckmäßiger Weise erfolgt. Während bei Wannenöfen die Hauptbedingung darin liegt, eine Verbrennung mit höchsten Temperaturen, also bestem Wirkungsgrad unter möglichster Schonung des feuerfesten Mauerwerks der Brenner und des Gewölbes zu erzielen, muß bei Hafenöfen außerdem noch auf Gleichmäßigkeit der Wärmeverteilung im Herdraum (vergl. Abschn. VI/24, 25), sowie auf Schonung der Häfen geachtet werden. Bedenkt man schließlich, daß die Brenner bei den üblichen Bauarten der Schmelzöfen nicht nur die Zuführung von Gas und Luft, sondern auch die Abführung der Abgase übernehmen müssen, so erkennt man die Schwierigkeit, gleichzeitig allen diesen Bedingungen in günstigster Weise gerecht zu werden, umso mehr als Einfachheit in der Ausführung und im Betrieb weitere und unerläßliche Bedingungen für Brenner an Glasschmelzöfen sind. In der Tat weisen auch alle gebräuchlichen Brennerbauarten Fehler auf; Aenderungen zur Abstellung eines Fehlers bewirken oft das Auftreten anderer Fehler und nur in einzelnen Fällen gelingt es, einen Ausgleich der verschiedenen Bedingungen in befriedigender Weise zu erzielen.

Bis jetzt wird in der Glasindustrie fast ausschließlich mit gemauerten Brennern einfachster Bauart gearbeitet. Die Einteilung der Brenner in Büttenbrenner, Schlitzbrenner und Oberflammbrenner ist bereits in Abschn. II/7 gekennzeichnet, insofern als die Benennung der verschiedenen Ofenbauarten nach dem verwendeten Brennersystem erfolgt.

Im folgenden soll der Einfluß der Bauart der üblichen Brennerformen auf die Strömungsverhältnisse und die Mischung behandelt werden an Hand von Beobachtungen und Messungen, welche von der W. B. G. durchgeführt wurden; soweit als möglich sind auch die Mittel besprochen, durch welche die Strömungsverhältnisse in beabsichtigter Weise beeinflußt werden können.

36. Büttenbrenner.

a) Vorgänge im Brennerschacht.

Abb. 57 u. 58 zeigen schematisch Aufriß und Grundriß der Anordnung eines Büttenbrenners in der gebräuchlichsten Ausführung. Gas und Luft stoßen, in den Kammern vorgewärmt, in horizontaler Richtung direkt gegen einander, um durch den vertikalen Schacht in der Ofenbank in den Herdraum zu strömen.

Die allgemeine Ansicht und die zunächst erwartete Wirkung des Stoßes unter dem Brennerschacht ist, daß Gas und Luft durch diesen Stoß sich vollständig mit einander mischen und aus dem Schacht ein bereits gleichmäßig brennendes Gemisch in den Herdraum strömt. Beobachtung und Messungen zeigen aber, daß die erwartete Mischung nur unvollkommen eintritt. Aus der Bütte tritt keineswegs eine nach allen Richtungen gleichartige Flamme, sondern es ist die Flamme auf der Seite der Gaskammer gasreicher als auf der Seite der Luftkammer. In vielen Fällen bleibt diese Ungleichheit bis zur abziehenden Bütte in mehr oder minder starkem Ausmaß bestehen und bewirkt jene Ungleichmäßigkeit in der Wärmeverteilung, wie sie im Abschn. VI/26 geschildert ist.

Die Erklärung für diese Erscheinung liegt darin, daß bei dem Aufeinanderprallen von Gas und Luft die horizontalen Geschwindigkeiten nicht durch Stoß und Wirblung vernichtet werden, wie man es erwartet, und dann im vertikalen Schacht die Geschwindigkeit neu erzeugt wird, sondern es stoßen nur Teile von Gas und Luft auf einander, während andere, mehr oder minder große Teile sich in stromlinienartiger Schichtung bewegen, derart, daß die Luft mehr auf der Seite der Luftkammern, das Gas mehr auf der Seite der Gaskammern durch die Bütten strömt. Der Vorgang erfolgt so, als ob sich an der Stoßstelle eine keilförmige Zunge bildete, an welcher Gas und Luft, ähnlich wie an einer festen Kanalwand in ihre neue Strömungsrichtung abgelenkt würden.

Abb. 59 zeigt diese Situation in schematischer Darstellung.

Maßgebend für das Verhältnis der wirbelnden zu den geschichtet strömenden Mengen sind die Kräfte, welche einerseits auf Stoß und Wirbelung, andererseits auf die Ablenkung in Stromlinien hinwirken. Die Stoßkraft ist nach dem physikalischen Gesetz des Antriebs proportional der Geschwindigkeit, mit welcher die beiden Medien gegen einander strömen. Die ablenkende Kraft wächst mit der Zugstärke und äußert sich in der Geschwindigkeit,

mit welcher die Gase von der Stoßstelle abströmen. Je stärker bei ein und demselben Ofen der Zug ist, desto straffer wird die Führung der strömenden Medien, desto schärfer prägen sich die Stromlinien aus, desto unvollkommener wird die Mischung. Bewiesen wird diese Behauptung durch zwei oft zu beobachtenden Tatsachen:

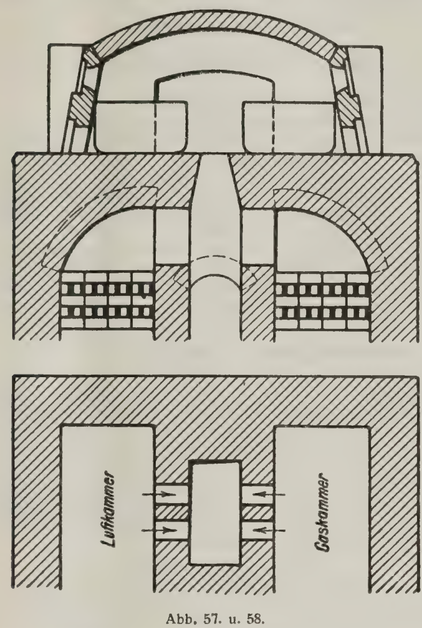


Abb. 57. u. 58.
Aufriß und Grundriß eines Büttenbrenners.

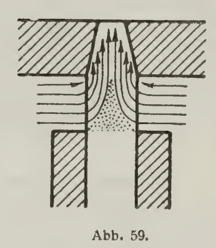


Abb. 59.
Stromlinienbildung im Büttenbrenner.

Während der Rauhschmelze, bei welcher mit starkem Zug gearbeitet wird, zeigt sich die Ungleichmäßigkeit der Flamme an den beiden Längsseiten des Ofens viel stärker als in den folgenden Phasen, wo geringerer Zug herrscht. Ferner kann beobachtet werden, daß bei starkem Zug die Flamme bogenförmig von einer Bütte zur anderen strömt, während sie bei geringerem Zug unvollkommener geführt ist, mehr gegen das Gewölbe stößt und zerflattert.

Es zeigt sich also, daß bei den gebräuchlichen Bauarten der Büttenbrenner durch das Aufeinanderstoßen von Gas und Luft weder die erwartete Vollkommenheit noch die erwünschte Gleichmäßigkeit der Mischung erzielt werden. Die Mischung erfolgt weniger durch Stoß, d. h. stürmisches Eindringen von Gas und Luft in einander, sondern hauptsächlich durch Diffusion, d. h. durch allmähliches Einwandern der neben einander strömenden Medien in einander. In dem Maße, wie heißes Gas und heiße Luft sich mischen, setzt die Verbrennung ein; durch die dabei auftretende Raumvergrößerung wird die sonst sehr langsam vor sich gehende Diffusion beschleunigt, sodaß die Flamme mehr oder minder voll entwickelt aus der Bütte tritt, ohne aber die für eine gleichmäßige Wärmeverteilung erforderliche Gleichmäßigkeit in der Zusammensetzung der Flammengase aufzuweisen.

b) Beispiel aus der Untersuchungspraxis der W. B. G.

Bei dem in einer bayerischen Glashütte untersuchten Ofen befanden sich die beiden liegenden Luftkammern auf der einen Längsseite des Ofens und die beiden Gaskammern auf der anderen Seite. Da über ungleichmäßigen Gang der Häfen geklagt wurde, wurden

Temperaturmessungen im Herdraum mittels Ardometer vorgenommen, wobei sich folgende Werte ergaben:

Bei Abzug an Bütte I:
Hafen Nr. 1 . . . 1520° C; Nr. 4 . . . 1350° C; Temperaturabfall . . . 170° C.

Bei Abzug an Bütte I:
Hafen Nr. 5 . . . 1400° C; Nr. 8 . . . 1350° C; Temperaturabfall . . . 50° C.

Bei Abzug an Bütte II:
Hafen Nr. 4 . . . 1520° C; Nr. 1 . . . 1350° C; Temperaturabfall . . . 170° C.

Bei Abzug an Bütte II:
Hafen Nr. 8 . . . 1400° C; Nr. 5 . . . 1350° C; Temperaturabfall . . . 50° C.

Hafen 1 bis 4 lagen über den Luftkammern; Hafen 5 bis 8 über den Gaskammern.

Der wesentlich schärfere Gang des Ofens auf der Seite der Luftkammern zeigt sich in den Temperaturmessungen auffallend deutlich. Die Häfen Nr. 1 und 4 lagen in ausgesprochenen Stichflammen und kamen deshalb bedeutend schneller zu Bruch als die übrigen Häfen. Die Ungleichheit der Temperatur ist eine Folge der ungleichmäßigen Mischung von Gas und Luft in der Flamme und zwar ist die Flamme bei Gasüberschuß weniger heiß als bei Luftüberschuß innerhalb gewisser Grenzen (vergl. Abschn. VI/25).

Untersuchungen der Zusammensetzung der Flammengase im Herdraum wurden in diesem Falle nicht vorgenommen, jedoch geht der größere Luftüberschuß auf der Luftkammerseite durch die Stichflammenbildung klar hervor. — Im folgenden Beispiel wird die Beziehung zwischen Temperatur und Zusammensetzung der Flammengase durch Analysen bewiesen.

c) Weiteres Beispiel aus der Untersuchungspraxis der W. B. G.

Bei dem untersuchten 8-häfigen Büttenofen sind nach der üblichen Bauart der Lausitzer Oefen die Kammern über Kreuz angeordnet. Der Ofen steht mit der schmalen Seite nach den Generatoren und Wechseln zu. Die Klagen bezogen sich auf ungleichmäßigen Gang der einzelnen Häfen und zwar ging der den Generatoren abgewendete Teil des Ofens schärfer als der zugewendete; ferner gingen die Ecken kreuzweise stark verschieden derart, daß die Häfen über den Gaskammern zurückblieben gegenüber den Häfen über den Luftkammern. Der ungleiche Gang der beiden Ofenköpfe konnte ohne weiteres durch die verschiedene Länge der Wechselkanäle erklärt werden (vergl. Abschn. X/50). Zur Aufklärung über den kreuzweise verschiedenen Gang wurden an verschiedenen Stellen des Herdes Gasproben entnommen und analysiert mit folgenden Ergebnissen:

Hafenreihe	Hafen-Nr.	Abzug	Zusammensetzung in Raum % — Kohlensäure CO_2	Sauerstoff O_2	Brennbare Bestandteile
A	7	Bahn-Seite	16,6	0,4	2,0
A	6	Gen.-Seite	16,6	1,6	0,0
A	7	Bahn-Seite	14,0	1,0	1,7
A	6	Gen.-Seite	17,0	1,2	0,0
B	2	Bahn-Seite	14,4	3,8	0,2
B	3	Gen.-Seite	13,5	0,3	6,5
B	2	Bahn-Seite	16,6	2,0	0,0
B	3	Gen.-Seite	14,0	0,2	3,0

Die starken Ungleichmäßigkeiten gehen aus den Analysen deutlich hervor. Insbesondere zeigt sich folgendes:

1. Ueber der Hafenreihe A sind bei Abzug auf der Bahnseite an der abziehenden Bütte noch brennbare Bestandteile vorhanden, während beim Abzug auf der Generatorseite die Verbrennung vollständig ist.

2. Ueber der Hafenreihe B ist umgekehrt bei Abzug auf der Bahnseite die Verbrennung beinahe vollkommen, während bei Abzug auf der Generatorseite die Abgase an der abziehenden Bütte noch brennbare Bestandteile enthalten.

3. Ueber der Hafenreihe B tritt die unvollkommene Verbrennung viel stärker auf, was aus dem größeren Gehalt an brennbaren Bestandteilen zu entnehmen ist.

Aus den Feststellungen 1. und 2. geht hervor, daß an den Häfen, welche über den Gaskammern stehen, ständig ein gewisser Gasüberschuß herrscht, während bei den Häfen über den Luftkammern Luftüberschuß vorhanden ist. Diese Erscheinung macht sich besonders fühlbar bei Beginn der Schmelze, wenn Ofen und Kammern noch kalt sind; bei zunehmender Erwärmung des Unterofens wird die Ungleichmäßigkeit etwas gemildert. Dieser Ausgleich tritt aber erst zu spät ein, nachdem sich schon eine beträchtliche Verschiedenheit

im Gang der Schmelze bemerkbar gemacht hat. Die Häfen über den Gaskammern bleiben zurück, da der Gasüberschuß die Temperatur erniedrigt; andererseits zeigt sich an den Häfen über den Luftkammern stärkere Gallebildung, weil dort die reduzierende Wirkung des Gasüberschusses in der Flamme fehlt. Die unvollkommene Mischung in der Bütte durch die Ausbildung von Strömungslinien wird durch die Analyse klar bewiesen.

Die Feststellung 3. über die Verschiedenheit des Ganges der kreuzweise einander gegenüber liegenden Häfen ist auf eine durch Zugmessungen nachgewiesene Verschiedenheit in der Zugstärke der Kammern zurückzuführen.

d) Verbesserung der Gleichmäßigkeit.

Die Gas-Luftverteilung in der Flamme kann gleichmäßiger gestaltet werden entweder durch Erhöhung des Mischungsgrades im Brenner oder durch bessere Vorbereitung einer gleichmäßigen Mischung im Brenner. Der erste Weg, die Verbesserung der Mischung selbst, kann z. B. durch Verjüngung des Brennerschachtes nach oben erfolgen; Abb. 60 zeigt einen unverjüngten Schacht, Abb. 61 einen pyramidenförmig nach oben verengten Brenner. Auch das Verhältnis von Breite und Länge des Brennerkanals beeinflußt den Grad der Mischung beim Austritt aus der Bütte; bei gleichem Flächeninhalt ergibt eine schmale, lange Oeffnung (Abb. 62) bessere Mischung als eine breite und kurze Oeffnung (Abb. 63), sowohl wegen der Verringerung des Abstandes zwischen den Gas- und Luftströmungslinien als auch wegen der Vergrößerung der Diffusionsfläche.

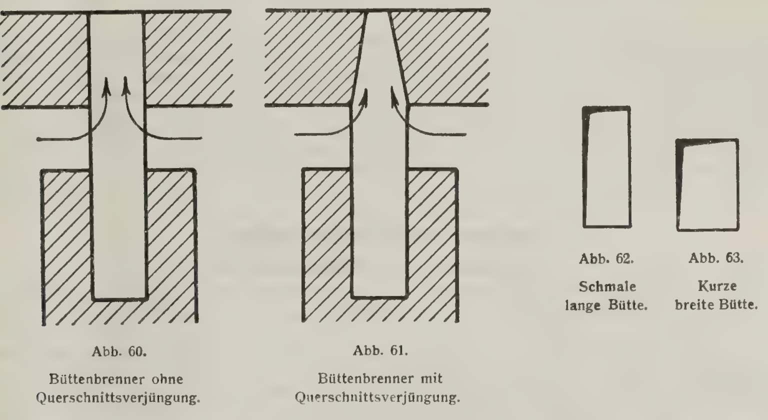


Abb. 62. Schmale lange Bütte.

Abb. 63. Kurze breite Bütte.

Abb. 60. Büttenbrenner ohne Querschnittsverjüngung.

Abb. 61. Büttenbrenner mit Querschnittsverjüngung.

Die Erhöhung des Mischungsgrades im Brenner selbst bringt aber in anderer Beziehung Nachteile mit sich. Aus dem Mischraum wird ein Vorverbrennungsraum, aus welchem das Gas schon zum großen Teil verbrannt in den Herdraum strömt, was verminderten wärmetechnischen Wirkungsgrad, also vergrößerten Brennstoffverbrauch zur Folge haben kann. Außerdem leiden die feuerfesten Steine der Bütten durch die Verbrennung derart, daß die Bütten schnell verschleißen und kraterförmig ausbrennen.

Es ist deshalb vorteilhafter, nicht die Mischung selbst, sondern nur die Vorbereitung der Mischung im Brenner zu begünstigen. Zu diesem Zweck kann man auf die Stoßwirkung ganz oder zum großen Teil verzichten und Gas und Luft schichtenweise neben einander versetzt in die Bütte einströmen lassen. In Abb. 64 ist eine solche Anordnung schematisch dargestellt.

Von den weiter unten behandelten Schlitzbrennern unterscheidet sich diese Anordnung dadurch, daß keine trennenden Wände zwischen den Gas- und Luftschichten in der Bütte liegen. In der Wirkung äußert sich dieser Unterschied dadurch, daß im Gegensatz zu den Schlitzbrennern bei den Büttenbrennern mit versetzten Gas- und Luftschichten eine teilweise Mischung durch Diffusion erfolgt, sodaß die Flamme bereits entwickelt in den Herdraum tritt. Durch die Versetzung wird gegenüber den Büttenbrennern mit direkt auf einander stoßenden Gas- und Luftströmen die gleichmäßige Verteilung von Gas und Luft über die Breite der Bütte gefördert.

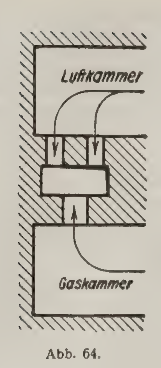


Abb. 64.

Büttenbrenner mit vollversetzten Einströmschlitzen.

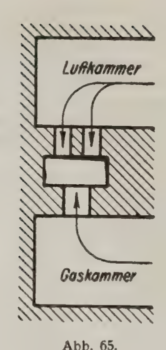


Abb. 65.

Büttenbrenner mit teilweise versetzten Einströmschlitzen.

Die bei Schlitzbrennern beobachtete Erscheinung, daß durch die Wirkung der Massenkräfte die Verteilung von Gas und Luft umgekehrt wie bei den einfachen Bütten so erfolgt, daß über den Luftkammern ein größerer Gasgehalt, über den Gaskammern aber größerer Luftgehalt herrscht, ist im Prinzip auch bei den Büttenbrennern mit versetzten Gas- und Luftströmen vorhanden, wird aber durch Diffusion zum größten Teil ausgeglichen. Wo der Ausgleich kein vollkommener ist, kann die Wirkung der Fliehkraft durch die entgegengesetzte Wirkung des Stoßes aufgehoben werden, indem die Versetzung von Gas und Luft nicht um eine ganze, sondern nur um einen Teil der Schichtbreite erfolgt.

Abb. 65 zeigt diese Anordnung.

37. Brenner von Oberflammöfen.

a) Gebräuchlichste Ausführungsformen.

Gas und Luft werden aus den Kammern durch vertikale oder schräge Brennerschächte zu den horizontalen Brennerkanälen, den eigentlichen „Brennern" geführt, welche in den Herdraum münden.

Lage der Gas- und Luftströme zueinander. In einzelnen Fällen liegen Gas- und Luftströme im Brenner nebeneinander und zwar derart, daß das Gas in der Mitte und die Luft in zwei Teilströmen zu beiden Seiten sich bewegt. Meistens aber strömen Gas und Luft im Brenner übereinander, bezw. die Luft über dem Gas. Da im Brenner nie eine vollkommene Mischung erfolgt, so ist die Flamme gegen das Gewölbe zu luftreicher, gegen die Häfen zu gasreicher. Allerdings wird die Absicht, welche mit der Anordnung oben liegender Luft- und unten liegender Gaszuführung vielfach verbunden ist, nämlich, zur Schonung des Gewölbes oben geringere Temperaturen einzustellen als auf der Unterseite der Flamme, nicht erreicht, denn es treten gerade umgekehrt die höheren Temperaturen auf der Seite des höheren Luftüberschusses auf, während der Gasüberschuß die Verbrennung verzögert und die Flamme abkühlt. Außer durch Temperaturmessungen wird diese Behauptung bestätigt durch die Beobachtung an einem Ofen, bei welchem durch Anordnung eines dritten Wechselorgans Gas- und Luftkammern vertauscht werden konnten. Es zeigte sich dort, daß die Schmelze wesentlich rascher von statten ging, wenn im Brenner das Gas oben und die Luft unten zugeführt wurde. Für die Sulfatschmelze ist allerdings der Gasüberschuß über den Häfen wegen seiner reduzierenden Wirkung von Vorteil. Die beobachtete größere Schonung des Gewölbes bei oben liegender Luftzuführung ist vielleicht dadurch zu erklären, daß der schädliche Einfluß des Kohlenoxydes im Gas bei hohen Temperaturen auf das feuerfeste Material des Gewölbes bei dieser Anordnung nicht zur Wirkung gelangt.

Die häufig zu findende Ansicht, daß durch Anordnung der oben liegenden Luftzuführung die Mischung insofern begünstigt wird, als infolge des Unterschiedes im spezifischen Gewicht das Gas aufsteigt und die Luft sinkt, dürfte kaum berechtigt sein, zum mindesten

aber wird der Einfluß dieses Unterschiedes gegenüber den anderen für die Mischung maßgebenden Faktoren ganz zurücktreten.

Einfluß der Zunge. Die Brenner bei übereinander strömenden Medien können eingeteilt werden in Brenner ohne Zunge, in Brenner mit Zunge bis zum Brennermaul und schließlich in Brenner mit verkürzter Zunge. Diese drei Anordnungen sind in Abb. 66, 67 u. 68 schematisch dargestellt.

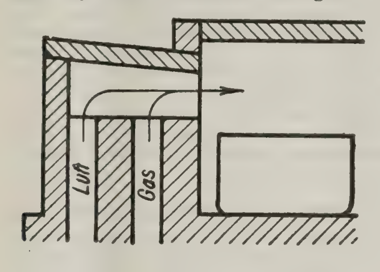


Abb. 66.

Oberflammofen-Brenner ohne Zunge.

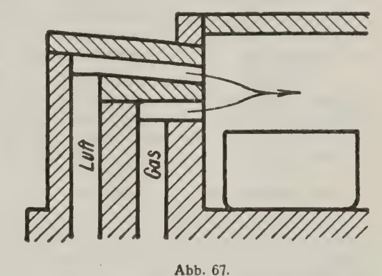


Abb. 67.

Oberflammofenbrenner mit ganzer Zunge.

Bei den Brennern ohne Zunge ist beabsichtigt, die Mischung von Gas und Luft im horizontalen Brennerkanal durch Stoß und Diffusion zu beschleunigen, sodaß aus dem Brennermaul die Flamme bereits entwickelt in den Herdraum tritt. Bei den Brennern mit einer zur Maulöffnung reichenden Zunge wird auf jede Mischung im Brenner selbst verzichtet und Mischung und Flammenbildung vollkommen in den Herdraum verlegt. Die Brenner mit verkürzter Zunge schließlich stellen einen Uebergang zwischen den beiden besprochenen Grenzfällen dar: Im letzten Stück des horizontalen Brennerkanals wird die Mischung durch Diffusion eingeleitet, während eine Mischung durch Stoß nicht erfolgt.

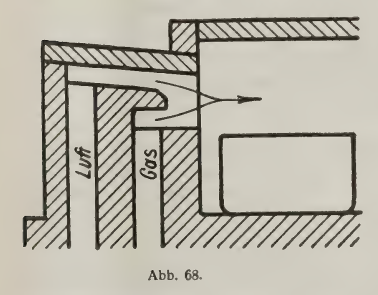


Abb. 68.

Oberflammofen-Brenner mit verkürzter Zunge.

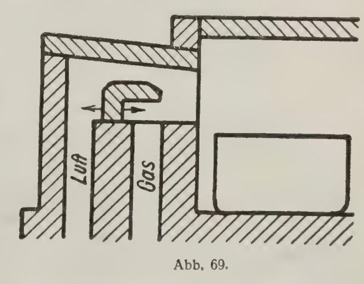


Abb. 69.

Oberflammofen-Brenner mit verschiebbarer Zunge.

Der Einfluß des verschiedenen Grades der Mischung in den drei Ausführungsformen macht sich im Verlauf der Temperaturen in der Längsrichtung der Flamme geltend, derart, daß unter sonst gleichen Verhältnissen der Ort der höchsten Temperaturen umso weiter vom Brennermaul in den Herdraum zu rückt, je unvollkommener die Mischung erfolgt. Entsprechend bleiben bei Brennern mit ganzer Zunge die Eckhäfen leicht in der Schmelze zurück, (vergl. Abb. 27), während bei Brennern ohne Zunge, insbesondere bei großer Länge und geringer Belastung des Ofens (Zuführung geringer Gasmengen), die in der Mitte des Ofens liegenden Häfen zurückbleiben können. (Vergl. Abb. 28.) Durch Abbrennen anfänglich vorhandener Zungen stellt sich allmählich ein Uebergang zwischen diesen beiden Grenzfällen ein. Infolge dieses Abbrennens geht die Beherrschung des Temperaturverlaufs in der Längsrichtung des Ofens verloren, soweit sie ursprünglich durch die Brennerbauart beabsichtigt war; ein Ausgleich durch Aenderung in dem Mischungsverhältnis von Gas und

Luft ist nur teilweise möglich. Man hat deshalb bei großen Spiegelglashafenöfen versucht, den Ausgleich durch Verschiebung der Zunge in der Längsrichtung durchzuführen. (Abb. 69.) Bei amerikanischen Oefen wird das Abbrennen durch Kühlung der Zunge vermieden.

Die Führung der Strömung im horizontalen Brennerkanal soll derart erfolgen, daß die Flamme horizontal über den Häfen durch den Herdraum strömt. Die bei Wannenöfen bevorzugte Neigung der Flamme unter einem Winkel nach abwärts mit dem Zweck, durch Wirblung auf dem Glasspiegel den Wärmeübergang durch Konvektion und Berührung zu fördern, ist bei Hafenöfen nicht zu empfehlen; die Hafenränder würden durch die Flamme in unzulässigem Maße beansprucht werden, und es soll deshalb die Wärmeübertragung nur durch Strahlung der Flamme und Rückstrahlung des Gewölbes erfolgen.

Außer den Ungleichmäßigkeiten der Wärmeverteilung in der Längsrichtung treten bei den Oberflammöfen auch ungleiche Verteilung im vertikalen Längsschnitt der Flamme nach oben und unten, sowie im horizontalen Längsschnitt der Flamme an beiden Längsseiten des Ofens auf. Diese Erscheinungen sollen im folgenden erörtert werden.

b) Gas-Luftverteilung im vertikalen Längsschnitt der Flamme. Beeinflussung der Mischung.

Bei den Brennern ohne Zunge ist, wie bereits erwähnt, eine Mischung durch Stoß und Diffusion beabsichtigt. Meist läßt man das Gas von unten rechtwinklig auf die darüber liegende Luft stoßen in der Annahme, daß auf diese Weise eine Durchwirblung und gleichmäßige Mischung von Gas und Luft erzielt wird. Die Untersuchung der Gas- und Luftverteilung zeigt aber in den meisten Fällen, daß ebenso wie in den Büttenschächten eine solch intensive Durchwirblung nicht eintritt, sondern sich in mehr oder minder starkem Maße eine stromlinienartige Bewegung einstellt. Es scheint, daß sich dort, ähnlich wie bei

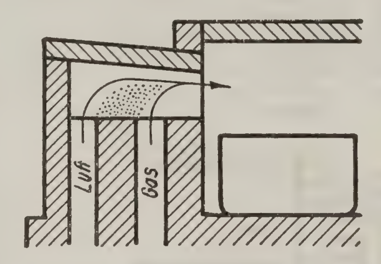


Abb. 70.
Stromlinienbildung im Oberflammofen-Brenner.

den Bütten ein keilförmiger Körper aus stagnierenden oder wirbelnden Gasen bildet, an welchen das strömende Gas wie an einer Mauerzunge in die horizontale Richtung abgelenkt wird. (Abb. 70.) Der Einfluß des Stoßes zeigt sich also auch hier in geringerem Maße als man für gewöhnlich annimmt, und die Mischung erfolgt in der Hauptsache durch Diffusion. Bei den gebräuchlichen Abmessungen erfolgt die Diffusion trotz ihrer Begünstigung durch die infolge der sofort einsetzenden Verbrennung eintretende Temperaturerhöhung nicht schnell genug, um eine vollständig gleichmäßige Mischung bis zum Austritt aus dem Brennermaul zu bewirken. Die Ungleichmäßigkeit der Gas-Luftverteilung in der Flamme setzt sich meist auf eine mehr oder minder lange Strecke in dem Herdraum fort, soweit, bis eben die Flamme ausgebrannt ist. Für Hafenöfen von größerer Länge, wie sie in der Ausführung als Oberflammöfen vorliegen, ist eine vollständige Mischung von Gas und Luft vor Eintritt in den Herdraum auch garnicht erwünscht, da die Mischung von hocherhitzten Gasteilchen mit hocherhitzten Luftteilchen ein sofortiges Einsetzen der Verbrennung zur Folge hat und die Verbrennungsgeschwindigkeit der hoch vorgewärmten Medien außerordentlich groß ist. Vollständige Mischung vor dem Herdraum würde also eine kurzflammige Verbrennung mit sehr hohen Temperaturen zur Folge haben, wie sie wohl bei Wannenöfen vorteilhaft, aber bei Hafenöfen wegen der Bedingung gleichmäßiger Wärmeverteilung nicht zweckmäßig ist. Nur bei sehr starker Ofenbelastung, wo also mit großen Gas- und Luftmengen gearbeitet wird, würde die Flamme auch bei intensiver Vormischung noch eine genügende Länge besitzen; eine Verbesserung der Mischung würde also in diesem Fall eine Erhöhung der Schmelzleistung ermöglichen, ohne daß die Verluste durch Brennbares in den Abgasen in unwirtschaftlicher Weise wachsen.

Eine Verbesserung der Mischung im Brenner selbst kann durch folgende Mittel erzielt werden:

1. Erhöhung der Stoßgeschwindigkeit in dem vertikalen Gasschacht und Verminderung der ablenkenden Geschwindigkeit in dem horizontalen Brenner, also enge Schächte und weite Brenner.

2. Begünstigung der Diffusion durch Vergrößerung der Berührungsfläche von Gas und Luft; also bei gegebenem Brennerquerschnitt soll die horizontale Breite im Verhältnis zur Höhe des Kanals vergrößert werden: Ein flaches, niedriges Flammenband schießt dann aus dem Brenner.

3. Begünstigung der Wirblung an der Berührungsfläche durch verschieden große Geschwindigkeit der über einander liegenden Gas- und Luftschichten.

Die beiden letzten Mittel: Breiter, niedriger Brennerquerschnitt und verschiedene Geschwindigkeit von Gas und Luft können auch bei Brennern mit Zunge dazu benützt werden, um die Verbrennung im Herdraum zu beschleunigen; dadurch kann das Zurückbleiben der Eckhäfen gemildert und auch bei stärkerer Belastung des Ofens ein vollständiges Ausbrennen der Flamme im Herdraum ermöglicht werden.

c) Gas-Luftverteilung im horizontalen Längsschnitt der Flamme.

Bei Hafenöfen mit Kammern, welche parallel zur Längsachse des Herdraumes liegen, zeigt sich häufig eine ungleichmäßige Beschaffenheit der Flamme in dem horizontalen Längsschnitt derart, daß an der einen Längsseite des Ofens ein größerer Gasüberschuß bezw. geringerer Luftüberschuß herrscht als an der anderen Ofenseite; und zwar ist der Gasgehalt größer auf der Seite der Luftkammern, der Luftgehalt aber größer auf der Seite der Gaskammern. Die Verhältnisse liegen also umgekehrt wie bei den Büttenöfen.

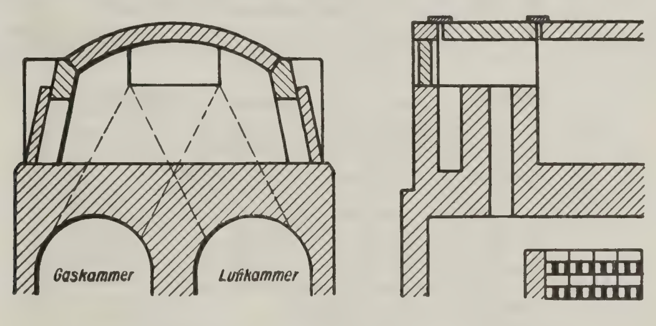
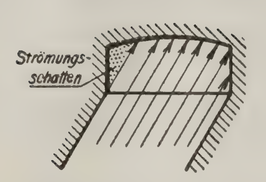


Abb. 71. Abb. 72.
Aufriß u. Kreuzriß eines Oberflammofens mit schrägen Brennerschächten.

Abb. 71 und 72 zeigen im Aufriß und Kreuzriß eine bei Spiegelglasöfen gebräuchliche Anordnung, bei welcher dieser Fehler auftritt. Die Brennerschächte sind von den Kammern schräg zum horizontalen Brennerkanal hochgezogen. Die über der Gaskammer liegende Seite des horizontalen Brennerkanals liegt dabei gewissermaßen im Strömungsschatten für die Bewegung des Gases, die andre Seite im Strömungsschatten für die der Luft (Abb. 73); daher ist an der Seitenwand über der Luftkammer die Gasdichte größer, an der Seitenwand über der Gaskammer aber die Luftdichte. Diese Erscheinung kann auch so erklärt werden, daß die Strömungsrichtung beim Eintritt aus dem schrägen Schacht in den horizontalen Kanal wohl eine Ablenkung in die Vertikale erfährt, daß aber durch die dabei auftretende Fliehkraft als Folge der Trägheit (des Beharrungsvermögens) der strömenden Masse die Dichte auf der konvexen Seite der Stromlinien größer ist als auf der anderen Seite.

Eine andere Ausführung zeigt Abb. 74. Es sind dabei die Brennerschächte so angeordnet, daß sie nur auf einem kurzen Stück schräg, dann aber senkrecht nach oben geführt sind. Dieser Anordnung lag jedenfalls die Absicht zugrunde, das Entstehen eines Strömungsschattens in dem horizontalen Brennerkanal zu vermeiden. Eine wesentliche Verbesserung



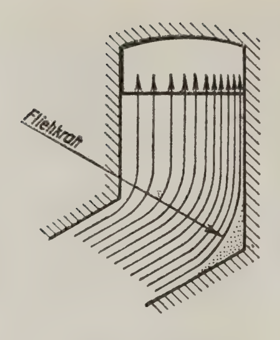


Abb. 73.
Strömungsschatten bei schrägen Brennerschächten.

Abb. 74.
Wirkung der Fliehkraft in der Strömungskrümmung.

der Gleichmäßigkeit zeigt sich aber bei dieser Anordnung nicht, da durch die bereits erörterte Wirkung der Fliehkraft eine einseitige Verdichtung auftritt, welche sich bis zum Eintritt in den horizontalen Brennerkanal meist nicht mehr vollständig ausgleicht.

d) Beispiel aus der Untersuchungspraxis der W. B. G.

Die Anordnung der Kammern und der Brennerschächte bei dem untersuchten Spiegelglasofen war so, wie in Abb. 55 dargestellt ist. Die Untersuchungen wurden vorgenommen,

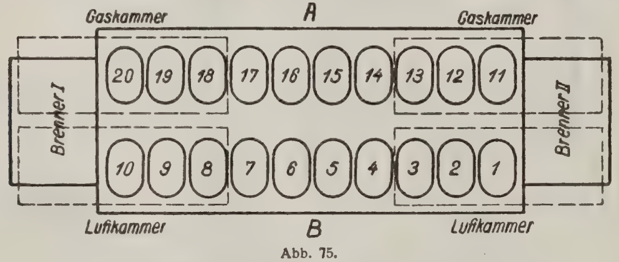


Abb. 75.
Grundriß eines Spiegelglasofens mit 20 Häfen.

weil über ungleichmäßigen Gang der Häfen geklagt wurde. Die Hafenreihe A, Häfen Nr. 11—20, Abb. 75, schmolz viel besser ab und wurde viel schneller blank als die Hafenreihe B, Häfen Nr. 1—10. Auch das Aussehen des Feuers war auf beiden Seiten verschieden. Auf der Seite A hob sich die Flamme vom Brenner ab nach dem Ofengewölbe empor, während auf der anderen Seite das Feuer so dicht auf den Häfen lag, daß diese kaum zu sehen waren und die Flammen z. T. bis zum Boden reichten. (Abb. 76.)

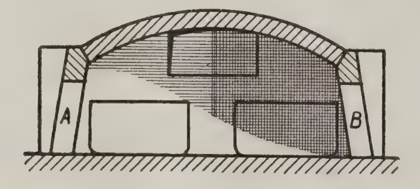


Abb. 76.
Ungleichmäßige Feuerverteilung über den Hafenreihen.

Es wurden aus dem Herdraum Gasproben an den 4 Eckhäfen entnommen und analysiert, wobei sich folgende Zusammensetzung der Flammengase in analysentrockenem Zustand ergab:

Abzug	Hafenreihe	Hafen Nr.	Zusammensetzung in Raum % Kohlensäure CO_2	Sauerstoff O_2	Brennbare Bestandteile
Brenner I	B	10	13,6	2,2	3,4
„ I	B	10	14,0	2,5	3,0
„ I	A	20	12,6	6,0	0,0
„ I	A	20	13,0	5,6	0,0
„ II	B	1	15,2	2,0	0,9
„ II	A	11	12,4	6,6	0,0

Aus den Analysen ist zu erkennen, daß der Luftüberschuß in der Flamme über der Hafenreihe B wesentlich geringer ist als über der Hafenreihe A. Die Nachrechnung der Mittelwerte ergibt über den Häfen 1—10 einen Luftüberschuß von etwa 4%, über den Häfen 11—20 aber von 39%.

Entsprechende Verschiedenheiten ergaben sich bei der Messung der Temperaturen im Oberofen, welche mittels Ardometer vorgenommen wurde. Es wurden dabei immer die Häten anvisiert.

Die Temperaturen an den Eckhäfen zeigten durchschnittlich folgende Werte:

Abzug	Hafenreihe	Hafen-Nr.	Temperatur	Hafen-Nr.	Temperatur	Temperatur-Abfall
Brenner II	B	10	1450°	1	1380°	70°
„ II	A	20	1500°	11	1370°	130°
„ I	B	1	1420°	10	1340°	80°
„ I	A	11	1480°	20	1350°	130°

Die Temperatur an der Hafenreihe A, an welcher der Luftüberschuß größer ist, liegt am Eintrittsbrenner 50 bis 60° C höher als auf der anderen Seite.

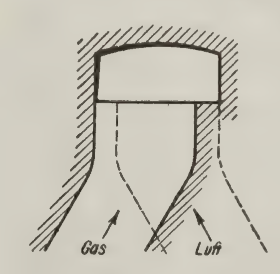
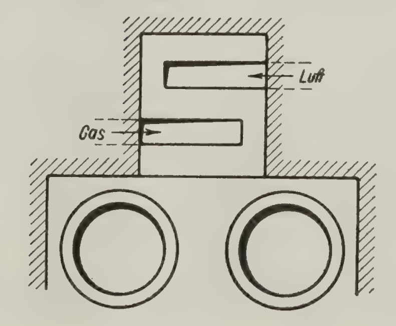


Abb. 77 u. 78.

Aufriß und Grundriß eines Oberflammofen-Brenners mit versetzten Schächten.



e) **Verbesserung der Gleichmäßigkeit im horizontalen Längsschnitt der Flamme.**

Bei Oberflammöfen mit Kammern, welche in der Längsrichtung des Ofens angeordnet sind, kann die Gleichmäßigkeit der Mischung verbessert werden, indem entweder der Einfluß der Fliehkraft möglichst vermindert wird oder durch Versetzung der Brennerschächte in der Querrichtung des Ofens der Einfluß der Fliehkraft ausgeglichen wird.

Die Verminderung der Fliehkraft kann erfolgen, wenn man die Lehren der Physik über die Abhängigkeit der Fliehkraft von Geschwindigkeit und Krümmungshalbmesser berücksichtigt; danach wächst die Fliehkraft mit dem Quadrat der Geschwindigkeit und nimmt ab mit der Größe des Krümmungshalbmessers. Es müssen also die Querschnitte der Brennerschächte möglichst weit gehalten werden; ihre Führung soll in möglichst sanftem Bogen von den Kammern zum horizontalen Brennerkanal erfolgen. Diese Anordnung ist bis jetzt praktisch nicht verwirklicht worden; es scheinen aber keine Bedenken gegen die Ausführung zu bestehen.

Die Versetzung der Schächte soll entgegengesetzt der Strömungsrichtung erfolgen; es sind also die Luftschächte näher an die Luftkammern und die Gasschächte näher an die Gaskammern zu setzen. Abb. 77 u. 78 zeigen diese Anordnung. Dieses Mittel zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit ist bereits bei einzelnen Oefen verwendet worden; ein voller Erfolg wurde nicht erzielt, da die Versetzung jedenfalls zu gering war.

Ganz ausgeschaltet können die auf ungleichmäßige Verteilung in dem horizontalen Längsschnitt der Flamme wirkenden Umstände werden, wenn die Kammern nicht in der Längsrichtung unter dem Ofen, sondern querliegend angeordnet werden. (Abb. 56.)

38. Schlitzbrenner.

Bei den Schlitzöfen wird auf die Stoßwirkung für die Mischung von Gas und Verbrennungsluft vollkommen verzichtet. Der vertikale Brennerschacht ist durch Zwischenwände derart geteilt, daß neben einander Gas und Luft in zwei oder mehreren Schichten

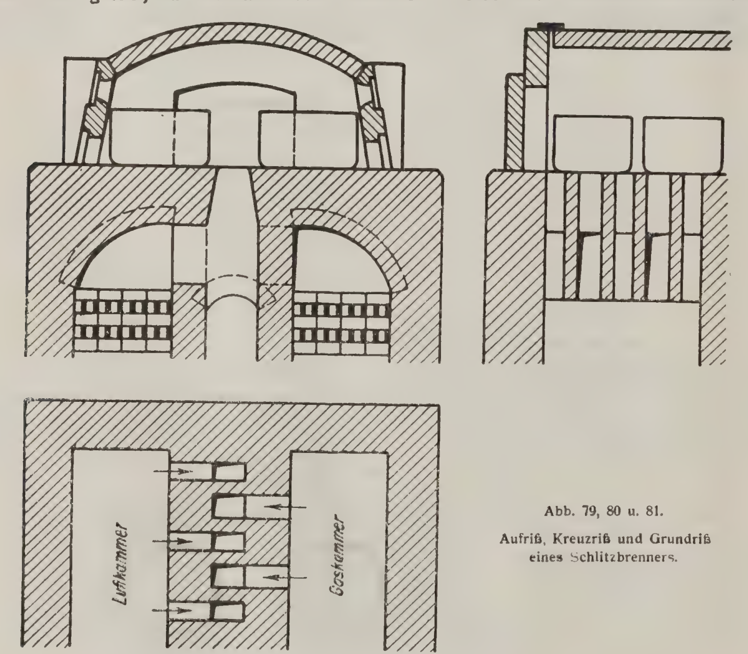


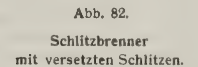
Abb. 79, 80 u. 81.

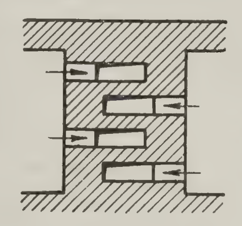
Aufriß, Kreuzriß und Grundriß eines Schlitzbrenners.

getrennt hoch geführt werden. Abb. 79, 80 u. 81 zeigen Aufriß, Kreuzriß und Grundriß eines Schlitzbrenners mit drei Luft- und zwei Gasschlitzen. Die trennenden Wände sind meist bis zur Herdsohle geführt, sodaß Gas und Luft getrennt in den Herdraum einströmen und die Mischung erst im Herdraum durch Diffusion erfolgt. Nur bei kleineren Schlitzöfen reichen bisweilen die Mauerzungen nicht bis zur Herdsohle, sondern endigen in einem gewissen Abstand, etwa 20—30 cm unterhalb, sodaß die Mischung durch Diffusion schon im Brennerkanal eingeleitet wird, und in den Herdraum ein bereits brennendes Gemisch eintritt.

Die Umlenkung der aus den Kammern durch horizontale Kanäle kommenden Gas- und Luftströme in den vertikalen Brennerschacht bewirkt ebenso wie bei den Oberflammöfen eine Verdichtung auf der entgegengesetzten Seite derart, daß das Gas-Luftgemisch über den Gaskammern luftreicher ist als über den Luftkammern und umgekehrt. Dieser Fehler tritt aber nicht so stark auf wie in den bei Oberflammöfen besprochenen Fällen. Entsprechend macht sich auch die durch die ungleichmäßige Mischung bewirkte Verschiedenheit im Gang der beiden Hafenreihen nicht so stark bemerkbar.

Zur vollständigen Beseitigung des Fehlers können die Schlitze um einen geringen Betrag gegen einander versetzt werden derart, daß die Gasschlitze näher zur Gaskammer, die Luftschlitze näher zur Luftkammer liegen. In Abb. 82 ist die Anordnung schematisch dargestellt.


Abb. 82.
Schlitzbrenner mit versetzten Schlitzen.



39. Größe und Berechnung der Brennerquerschnitte.

a) Einfluß des Brennerquerschnitts.

Um die zweckmäßigsten Abmessungen des Brennerquerschnitts zu bestimmen, muß man den Einfluß derselben auf die Betriebsverhältnisse beurteilen können.

Je kleiner die Brennerquerschnitte sind, desto größer wird die Geschwindigkeit, mit der die Flammengase herausschießen, desto straffer wird die Führung der Flamme, welche geschlossener bleibt und weniger zerflattert, geringeren Querschnitt und größere Länge erhält. Bei Hafenöfen sind aber diese Eigenschaften im Gegensatz zur Wanne, wo durch straffe Führung der Flamme auf das Bad Wirblung und Wärmeübergang begünstigt werden, nur in besonderen Fällen erwünscht. Bei Bütten- und Schlitz-Brennern ergeben große Flammengeschwindigkeiten, insbesondere in Verbindung mit schwachem Zug, ein Aufprallen der Flamme auf das Gewölbe, was infolge der entstehenden Wirblung wohl ein gutes Ausfüllen des Herdraumes über den Häfen bewirkt, aber das Gewölbe zu stark angreift. Bei Oberflammöfen mit größerer Länge können höhere Geschwindigkeiten von Vorteil sein, um den Temperaturunterschied in der Längsrichtung zu mildern. Bei geringerer Breite des Brenners empfiehlt es sich dann allerdings, über jeder Hafenreihe einen Brenner anzuordnen. — Zu berücksichtigen ist aber, daß das Druckgefälle zur Erzeugung der Strömungsgechwindigkeit mit abnehmendem Brennerquerschnitt wachsen muß; bei gleicher Strömungsmenge muß daher mit größerem Gasdruck bezw. Luftauftrieb und mit größerer Zugstärke gearbeitet werden. — Noch nachteiliger als zu kleine Brenner können übermäßig große Brenner wirken. Bei Bütten- und Oberflammöfen ohne Zunge wachsen mit der Aufenthaltsdauer der Flamme im Brenner Mischungsgrad und Vorverbrennung; die Flamme klebt am Brenner, wird breit und kurz und füllt die Herdlänge nicht aus, die Wärmeverteilung im Herdraum wird sehr ungleichmäßig, das Mauerwerk brennt schneller ab. Bei Büttenöfen zeigt sich der ungünstige Einfluß zu großer Brenner deutlich im Anwachsen des Brennstoffverbrauchs mit fortschreitendem Ausbrennen der Bütten; man muß Gas im Ueberschuß zuführen, um eine genügend große Flammenlänge zu erhalten. Aehnlich wirkt eine Vergrößerung des Brennerschachtes auch ohne Vergrößerung der Büttenöffnung.

b) Beziehung zwischen Brennerquerschnitt und Herdfläche des Ofens.

Da der Wärmebedarf je qm Herdfläche ziemlich unabhängig von der Ofengröße ist, (vergl. Abschn. III/14) sind auch Gas- und Luftmenge angenähert porportional zur Herdfläche; bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit müßten dann die Brennerquerschnitte im Verhältnis zur Herdfläche wachsen. Für die statistisch behandelten Oefen sind die Werte für das Verhältnis eines Brennerquerschnitts zur Herdfläche in den Zahlentafeln I, II u. III eingetragen. Sie liegen für alle Arten der Oefen meist zwischen 1,5 und 2,5%. Innerhalb dieser Grenzen wird man auch bei neuen Oefen die Brennerquerschnitte wählen, wobei die Näherung an den oberen oder unteren Grenzwert durch die in Abschn. VIII/39 a angestellten Ueberlegungen beeinflußt wird.

Für den in Abschn. V/21 und VII/31d beispielsmäßig berechneten Büttenöfen sei mit Rücksicht auf das allmähliche Ausbrennen der Büttenquerschnitt mit 1,8% der Herdfläche gewählt; er wird also 0,018 . 13 = 0,234 qm betragen. Anstelle dieser einfachsten und praktisch ausreichenden Berechnungsart werden die Brennerquerschnitte auch auf Grund der spezifischen Wärmebelastung oder der Strömungsgeschwindigkeiten berechnet; im folgenden seien diese Methoden kurz besprochen.

b) Berechnung des Brennerquerschnitts auf Grund der spezifischen Wärmebelastung.

Als spezifische Wärmebelastung sei die auf 1 qm eines Brennerquerschnitts bezogene durchschnittliche Brennstoffwärme je Stunde Gesamtdauer bezeichnet. Diese Zahl darf nicht verwechselt werden mit der tatsächlich von Gas und Luft durch 1 qm Brennerquerschnitt stündlich bewegten Wärmemenge, welche wohl bei gleichem Wärmeinhalt je cbm einen theoretisch richtigeren Maßstab bildet, aber praktisch nur sehr schwer nachzuprüfen ist.

Für die statistisch behandelten Oefen sind die Werte der spezifischen Wärmebelastung des Brennerquerschnitts in den Zahlentafeln VII, VIII u. IX eingetragen; sie liegen zwischen den äußersten Werten von etwa 5 000 000 bis 13 000 000 WE/qm/Std., normal aber meist zwischen 6 000 000 und 8 000 000 WE/qm/Std. Für den berechneten Ofen ergab sich nach Abschn. VII/32 a eine Brennstoffwärme von 1 520 000 WE/qm Herdfläche/Std. Bei einem Brennerquerschnitt von 0,234 qm (Abschn. VIII/39 b) beträgt die spezifische Wärmebelastung

1 520 000 : 0,234 = 6 500 000 WE/qm Brennerquerschnitt/Std.,

liegt also innerhalb der normalen Grenzen.

c) Berechnung des Brennerquerschnitts auf Grund der Strömungsgeschwindigkeit.

Strömen durch den Brennerquerschnitt V cbm Gase (Frischgas und Luft bezw. Abgase) und ist eine Strömungsgeschwindigkeit von c m/Sek. vorgeschrieben, so errechnet sich der erforderliche Brennerquerschnitt in qm zu $F = V : c$; umgekehrt ergibt die Nachrechnung der Strömungsgeschwindigkeit $c = V : F$.

Für das behandelte Rechenbeispiel beträgt nach Abschn. VII/32 b die strömende Menge 0,283 cbm Gas/Sek. und 0,350 cbm Luft/Sek., zusammen 0,633 cbm/Sek., bezogen auf den Normalzustand von 0° C und 760 mm Q. S. Wird eine Temperatur des beim Eintritt in den Herdraum brennenden Gas-Luftgemisches von etwa 1200° C (sehr unsicher!) angenommen, so ist das Strömungsvolumen 0,633 (1200 + 273) : 273 = 3,42 cbm/Sek. Bei einem Brennerquerschnitt von 0,234 qm (Abschn. VIII/39 b) würde dann die Strömungsgeschwindigkeit beim Eintritt in den Herdraum betragen:

3,42 : 0,234 = 14 m/Sek.

Die Berechnung der Brennerquerschnitte auf Grund angenommener Strömungsgeschwindigkeit ist theoretisch die richtigste. Das vorstehende Beispiel zeigt aber, daß diese Berechnungsart einerseits verhältnismäßig umständlich ist, andererseits aber zahlreiche Annahmen erfordert, deren Berechtigung auf Grund von Messungen, Untersuchungen und statistischen Aufzeichnungen kaum nachzuprüfen ist. Insbesondere ist die Annahme der Temperatur der strömenden Gase beim Eintritt in den Herdraum außerordentlich unsicher, sodaß die in der Literatur zu findenden Angaben über Strömungsgeschwindigkeiten — etwa 5 bis 15 m/Sek. — nicht als verläßliche Vergleichswerte betrachtet werden können.

IX. Umsteuervorrichtungen.

40. Aufgabe der Umsteuervorrichtungen.

Die Umsteuer- oder Wechselvorrichtungen, kurz Wechsel genannt, haben die Aufgabe, die Gas- und Luftkammern der Wärmespeicher abwechselnd einmal mit der Gas-, bezw. Luftzuführung, dann mit der Esse zu verbinden. In den meisten Glashütten wird als Luftwechsel noch die alte Siemens-Klappe verwendet und als Gaswechsel die Wechseltrommel; bei größeren Oefen findet man vereinzelt das Forter-Ventil und neuerdings auch die Umsteuervorrichtung von Knoblauch.

Das Umstellen der Wechselvorrichtungen erfolgt bei kleineren Oefen von Hand aus und unmittelbar am Wechsel selbst, bei größeren Oefen, wo die Wechselvorrichtungen meist im Keller sitzen, erfolgt die Verstellung meist von der Ofenbühne aus z. B. mit Hilfe von Handkurbel, Kette und Kettenrad.

Die hauptsächlichsten Bedingungen, welche an einwandfreie Umsteuervorrichtungen gestellt werden müssen, sind folgende:

a) Sie sollen dicht halten.

b) Es sollen während des Umsteuervorganges sowie in der Zeit zwischen Umsteuerung von Gas und Luft unbeabsichtigte Verbindungen zwischen Gas-, Luft- und Abgaskanälen möglichst vermieden werden.

c) Die Abschlußorgane sollen zwecks Prüfung ihres Zustandes leicht zugänglich sein; auch sollen die Umsteuervorrichtungen die Zugänglichkeit der Kanäle nicht verhindern.

Im Folgenden sollen die oben erwähnten Vorrichtungen und ihr Verhalten in bezug auf diese Bedingungen besprochen werden.

41. Wechselklappe.

Eine Beschreibung erübrigt sich. Klappen werden hauptsächlich als Luftwechsel, nur vereinzelt noch in veralteten Betrieben als Gaswechsel benützt. Zur Regelung der Luftmenge dient meist ein auf dem Einströmstutzen des Gehäuses sitzendes einfaches Tellerventil, welches durch Schraubenspindel und Handrad von der Bühne aus bedient wird.

Die Klappen sind einfach und billig in der Bauart und können einfach und schnell umgelegt werden. Diesem Vorteil steht aber als schwerwiegender Nachteil die Schwierigkeit oder gar Unmöglichkeit des dauernd dichten Abschlusses entgegen. Auch wenn die Klappen im neuen, kalten Zustande vollkommen abdichten, so tritt durch das Erhitzen während des Betriebes ein Verziehen der Klappen ein, sodaß sie nicht mehr am ganzen Rande dicht aufliegen.

Auch durch vorsichtiges Anwärmen bei der Inbetriebsetzung läßt sich ein Verziehen kaum vermeiden, da fast in jedem gußeisernen Körper schon durch die Herstellung Spannungen vorhanden sind, welche durch die Erwärmung ausgelöst werden.

Verziehen des Gehäuses oder des Mauerwerks bewirkt undichten Abschluß und schließlich verhindern Rosten und Verschmutzen der Klappe und des Sitzes durch Staub-, Ruß- und Teerablagerung die notwendige Dichtheit. Bei den zahlreichen Untersuchungen der W. B. G. ist jedenfalls kaum eine einwandfrei dichtende Klappe gefunden worden, sondern in den weitaus überwiegenden Fällen wurden starke Undichtigkeiten festgestellt.

42. Nachteile des undichten Schließens.

Durch das undichte Schließen wird eine direkte Verbindung (Kurzschluß) zwischen Gas-, bezw. Luftzuführung einerseits und Essekanal andererseits hergestellt. Damit sind verschiedene Nachteile verbunden.

a) Gasverlust bei Gaswechselklappen.

Bei Gaswechselklappen wird Frischgas aus dem Gaskanal durch den Wechsel unmittelbar zur Esse abgesaugt. Die dadurch entstehenden Gasverluste entsprechen ebenso großen verhältnismäßigen Verlusten an Brennstoff und können unter Umständen sehr bedeutend sein.

An einem Beispiel aus der Untersuchungspraxis der W. B. G. soll die Größe dieser Verluste gezeigt werden.

Die Untersuchung des Frischgases vor dem Wechsel ergab folgende Zusammensetzung des analysentrockenen Gases:

5,0 %	Kohlensäure	(CO_2)	0,2 %	Sauerstoff	(O_2)
50,0 %	Stickstoff	(N_2)	28,0 %	Kohlenoxyd	(CO)
2,8 %	Methan	(CH_4)	14,0 %	Wasserstoff	(H_2)

Die Untersuchung der Abgase aus der Gaskammer vor Eintritt in den Wechsel ergab:

18,0 % CO_2	1,4 % O_2	80,6 % N_2

Brennbare Bestandteile (CO, CH_4, H_2) wurden nicht gefunden.

Hinter der Gaswechselklappe zeigte sich folgende Zusammensetzung:

15,8 % CO_2	1,2 % O_2	75,6 % N_2
4,7 % CO	0,4 % CH_4	2,3 % H_2

Die Abgase zeigen eine beträchtliche Menge brennbarer Bestandteile, welche durch die undichte Klappe hindurch aus dem Gaskanal in den Abgaskanal gelangt sind.

4,7% CO in den Abgasen hinter der Klappe entsprechen bei einem CO-Gehalt des Frischgases von 28,0% einer Menge von 4,7 : 28,0 = 0,168 cbm Frischgas je cbm Abgas — Frischgasmischung hinter der Klappe; in 1 cbm dieser Mischung sind also enthalten 1 — 0,168 = 0,832 cbm reines Abgas, entsprechend einer Menge von 0,168 : 0,832 = 0,2 cbm Frischgas je cbm Abgas vor der Klappe.

Da aus 1 cbm Frischgas rund 2 cbm Abgas entstehen, so gehen von 1 cbm Frischgas verloren 2 . 0,2 = 0,4 cbm entsprechend einem Gas- oder Brennstoffverlust von 40%.

b) Verlust an Verbrennungsluft bei Luftwechselklappen.

Durch die undichten Luftwechselklappen strömt ein Teil der Verbrennungsluft direkt in den Abgaskanal anstatt durch die Luftkammer in den Ofen.

Der häufig an Oefen festgestellte Luftmangel ist bei richtiger Bemessung der Strömungsquerschnitte und wenn keine Verstopfung der Strömungswege vorliegt, auf den Luftverlust durch die undichte Klappe zurückzuführen. Die Nachteile des Luftmangels sind in dem Abschn. XI/52 d angeführt.

c) Verminderung der Zugstärke.

Durch den Hinzutritt von Luft oder Gas zu den Abgasen wird deren Temperatur erniedrigt, wodurch die von der Temperatur abhängige Zugstärke der Esse sinkt, während zur Förderung der vergrößerten Abgasmenge ein stärkerer Zug erforderlich wäre.

Ist kein genügend starker Zug vorhanden, so macht sich dieser Umstand im Ofenbetrieb sehr störend bemerkbar, insbesondere in Verbindung mit der im Laufe der Betriebszeit wachsenden Verstopfung der Kammern. Die Dauer der Ofenreise wird dadurch u. U. wesentlich verkürzt.

d) Ungleicher Ofengang.

Zeigt die Untersuchung, daß der Grad der Undichtigkeit in den beiden Lagen der Wechselklappe verschieden groß ist, sodaß die Gas- bezw. Luftverluste während der einen Umsteuerperiode anders sind als in der folgenden, so sind auch die Verbrennungs- und Temperaturverhältnisse im Herdraum entsprechend der jeweiligen Flammenrichtung verschieden. Die Wärmeverteilung im Herdraum erfolgt also ungleichmäßig. Ein Beispiel aus der Untersuchungspraxis der W. B. G. zeigt folgendes Bild: Es wurden Abgasproben gleichzeitig aus dem unteren Teil der Luftkammer und aus dem Abgaskanal der beiden Luftkammern, also vor und hinter der Luftwechselklappe entnommen und analysiert. Das Ergebnis war folgendes:

Südl. Luftkammer	16,1 % CO_2	2,3 % O_2	81,6 % N_2
Abgaskanal	10,4 % CO_2	8,9 % O_2	80,7 % N_2

In der nächsten Periode wurden die Abgase der anderen Ofenseite untersucht, wobei sich folgende Werte ergaben:

Nördl. Luftkammer	15,3 % CO_2	3,5 % O_2	81,2 % N_2
Abgaskanal	8,8 % CO_2	10,9 % O_2	80,3 % N_2

Die Menge der durch die undichte Luftwechselklappe in den Abgaskanal tretenden Luft kann aus dem Verhältnis der Werte für den CO_2-Gehalt bestimmt werden. Der Verdünnungs-Faktor beträgt:

bei Abzug auf der Südseite 16,1 : 10,4 = 1,55 entsprechend einer Falschluftmenge von 55% der Abgasmenge vor dem Wechsel;

bei Abzug auf der nördlichen Ofenseite 15,3 : 8,8 = 1,74 entsprechend einer Luftmenge von 74%. Diese Verschiedenheiten wirkten sich in einem ungleichen Gang der beiden Ofenseiten sehr störend aus.

e) Einfluß auf die Abhitzeverwertung.

Bekanntlich wird in neuerer Zeit immer häufiger die Wärme der Abgase hinter den Wechseln ausgenützt, um in Abhitzekesseln Dampf zu erzeugen. Die Leistung dieser Kessel ist von der Temperatur der Abgase in ausschlaggebender Weise abhängig, da das den Wärmeübergang bewirkende Temperaturgefälle zwischen Abgasen und Dampf mit abnehmender Temperatur sehr schnell sinkt. Bei Temperaturen unter 400° C erscheint die Wirtschaftlichkeit meist schon zweifelhaft. Die durch die Undichtigkeiten der Luftwechselklappen übertretende Falschluft bewirkt häufig eine starke Abkühlung der Abgase, sodaß die Dampfleistung verringert wird, bezw. die Aufstellung eines Abhitzekessels schon von vornherein als unzweckmäßig erscheint.

In solchen Fällen ist der Ersatz der Wechselklappe durch eine vollkommenere Umsteuervorrichtung unerläßlich.

43. Wechseltrommel (Wechselglocke).

Bei der Wechseltrommel wird durch einen Wasserabschluß eine vollkommene Dichtheit erzielt. Die Vorrichtung besteht aus einer von einer Scheidewand durchzogenen zylindrischen Blechtrommel, dem gußeisernen Trommelkreuz und der Hebevorrichtung. Das Trommelkreuz umschließt 4 Schächte mit kreissektorförmigem Querschnitt, von welchen zwei mit den Kammern, der dritte mit dem Essekanal und der vierte mit dem Gaskanal verbunden ist. Das Kreuz und der Umfang sind rinnenartig ausgebildet und mit Sperrwasser gefüllt, in welches die Trommel mit ihrer Scheidewand hineintaucht, wobei die Scheidewand nicht so tief reicht, wie der Trommelmantel.

Das Wechseln erfolgt in der Weise, daß mit Hilfe eines Hebels die Trommel so hoch gehoben wird, daß sich die Scheidewand außerhalb, der Trommelrand aber noch im Sperrwasser befindet; die Trommel wird darauf um 90% gedreht und schließlich in ihre neue Stellung gesenkt.

Diese Trommel kann nicht nur als Gas-, sondern auch als Luftwechsel benutzt werden; in letzterem Falle ist ein besonderes Luftregelorgan erforderlich.

Bei einer anderen Ausführung der Luftwechseltrommel ist an Stelle des Trommelkreuzes ein Tauchring mit drei radialen Armen vorhanden, entsprechend den drei Schächten mit Sektorquerschnitt. Zwei dieser Schächte sind mit den Kammern, der dritte ist mit dem Essekanal verbunden. Die Lufteinströmung erfolgt durch eine Oeffnung im Deckel der Trommel, welche durch eine Regelklappe dem Luftbedarf entsprechend eingestellt werden kann. Die Scheidewand in der Trommel ist unter einem Winkel von 120° angeordnet.

Bei diesem Wechsel wird dementsprechend die Trommel nicht um 90, sondern um 120° gedreht.

Durch das Sperrwasser wird eine vollkommene Abdichtung erzielt. Undichtigkeiten können nur eintreten, wenn die Scheidewand zwischen den Schächten oder in der Trommel undicht ist, oder wenn das Trommelkreuz nicht dicht aufsitzt. Der Zustand dieser Teile muß daher von Zeit zu Zeit nachgeprüft werden; die Trommel ist dabei herauszunehmen und umzustülpen.

Zur Vermeidung des Durchrostens der Trommelscheidewand muß diese aus starkem Blech hergestellt sein. Bei größeren Wechseltrommeln schützt man die Scheidewand gegen die hohen Abgastemperaturen dadurch, daß man sie doppelwandig macht, wodurch sie von außen gekühlt und ihr Zustand beobachtet werden kann.

44. Forter-Ventil.

Diese in neuerer Zeit besonders bei größeren Ofenanlagen benützte Vorrichtung ermöglicht ebenso wie die Trommeln eine vollkommene Abdichtung durch Wasserabschluß. Sie besteht aus einem gußeisernen Untersatz, welcher Sperrwasserrinnen enthält und mit drei rechteckigen Oeffnungen versehen ist, von denen die beiden äußeren mit je einer Kammer und die mittlere mit dem Essekanal in Verbindung steht. Auf dem Untersatz ruht ein aus starken Blechen hergestelltes Gehäuse, welches oben eine Oeffnung für den Zutritt von Gas, bezw. Luft besitzt. Innerhalb dieses Gehäuses verbindet eine durch einen Hebel bewegte Haube je nach der Strömungsrichtung die eine oder andere Kammer mit dem Essekanal.

Der Wechseltrommel gegenüber ist das Forter-Ventil durch einen geringeren Raumbedarf im Vorteil; ein Nachteil ist, daß die innere Haube nicht von außen beobachtet werden kann.

45. Verluste beim Umsteuern.

Die bis jetzt besprochenen Wechselvorrichtungen: Klappen, Trommeln und Forter-Ventil ergeben während des Umsteuervorganges unbeabsichtigte Verbindungen zwischen Gas-, Luft- und Abgaskanälen, wodurch mehr oder minder große Verluste an Gas entstehen. Man kann diese Verluste einteilen in Kurzschluß- und Rückstromverluste.

a) Kurzschlußverluste entstehen dadurch, daß während des Wechselns eine direkte Verbindung zwischen dem Gaskanal und dem Essekanal (Kurzschluß) besteht, sodaß Gas direkt von der Esse abgesaugt wird.

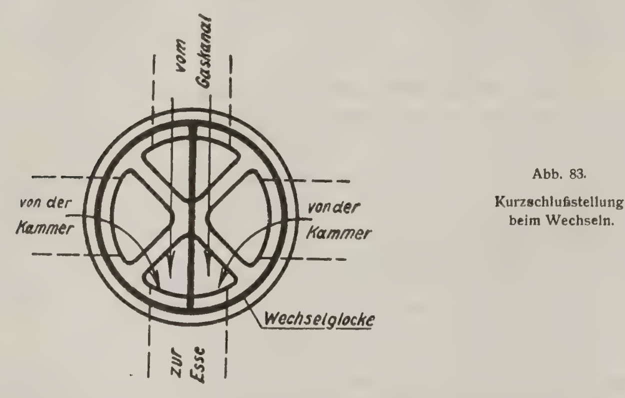


Abb. 83.
Kurzschlußstellung beim Wechseln.

In Abb. 83 ist die Situation schematisch dargestellt. Diese Kurzschlußverluste können dadurch vermieden werden, daß während des Gaswechselns entweder das Gasabsperrorgan (Gasstelltrommel bezw. Gas-Ventil) oder einfacher der Schieber im Kanal zwischen Gaswechsel und Abgaskanal geschlossen wird. So einfach dieses Verfahren ist, wird es doch nur selten verwendet.

Eine genaue Berechnung der Gasverluste durch den Kurzschluß beim Wechseln ist nicht möglich, da die Strömungsgeschwindigkeit des Gases während des Wechselns infolge der direkten Verbindung mit der Esse größer als sonst ist, und die Strömungsquerschnitte im Wechsel während des Umsteuerns sich ändern. Die Verluste sind umso größer, je länger der Wechselvorgang dauert und je häufiger gewechselt wird; der Größenordnung nach bewegen sich die Verluste bei normalen Verhältnissen um etwa 1% herum.

b) Die Rückstromverluste können in zwei Summanden zerlegt werden und zwar in die Gasmenge, welche bei Beginn des Umsteuerns aus dem Raum zwischen Brenner und Wechsel zurück und zur Esse gesaugt wird; und weiter in die Gasmenge, welche in der Zeit zwischen Luftumsteuerung und Gasumsteuerung durch die Gaskammern zum Brenner strömt, aber nicht durch den Herdraum geht, sondern durch die benachbarte Luftkammer unverbrannt von der Esse zurückgesaugt wird.

Das Rücksaugen erfolgt nicht nur aus der Gas-, sondern auch — auf dem gegenseitigen Brenner — aus der Luftkammer und es tritt infolgedessen im gemeinsamen Abgaskanal eine Mischung von Gas und Luft ein, welche bei genügend hoher Temperatur zündet und explosionsartig verbrennen kann. Die oft zu findende Ansicht, daß durch einen entsprechenden zeitlichen Abstand zwischen Luft- und Gasumsteuerung solche Explosionen vermieden werden können, ist nicht begründet, da auch in der Zwischenzeit Gas und Luft gleichzeitig in den Essekanal strömen. Zur Verringerung der Rückstromverluste soll also entweder gleichzeitig oder möglichst kurz hintereinander gewechselt werden.

Auch die Rückstromverluste lassen sich nicht genau berechnen, sie wachsen mit der Größe des Raumes zwischen Wechsel und Brenner, sowie mit der Häufigkeit und Dauer

des Umsteuerns. In der Größenordnung betragen diese Verluste unter normalen Verhältnissen etwa 1—3%. Eine vollständige Vermeidung der Rückstromverluste ist bei den bisher besprochenen Bauarten der Wechselvorrichtungen nicht möglich.

46. Umsteuervorrichtung von Knoblauch.

Der in Abb. 84 bis 87 dargestellte Wechselapparat stellt die neueste Konstruktion dar. Zu jeder Kammer gehören 2 Ventile, sodaß z. B. bei 4 Kammern 8 Ventile vorhanden sind. Durch die vier neben dem Abgaskanal angeordneten Ventile strömt immer nur Abgas, durch die vier anderen immer nur Frischgas bezw. Luft. Es sind jeweils 4 Ventile offen, 2 Abgas-, 1 Frischgas- und 1 Luftventil. Das Wechseln erfolgt, indem zunächst die offenen Ventile geschlossen und erst dann die vier anderen Ventile geöffnet werden, sodaß der Ofen während einer kurzen Zeit vollkommen von Gas und Luft abgeschlossen ist. Dadurch werden die Kurzschlußverluste und der durch das gleichzeitige Abziehen aus beiden Brennern eintretende Teil des Rückstromverlustes vermieden.

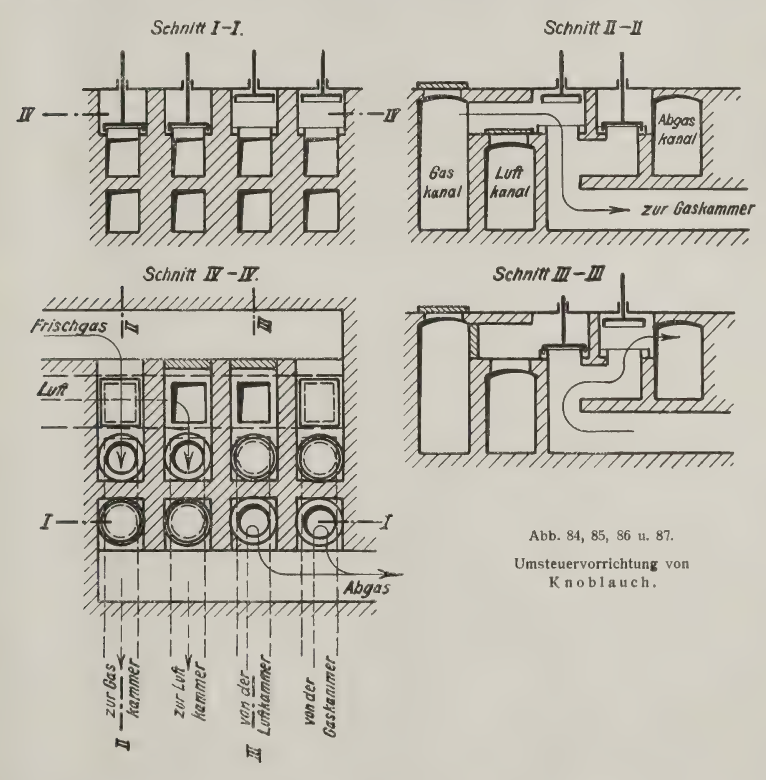


Abb. 84, 85, 86 u. 87.
Umsteuervorrichtung von Knoblauch.

Weitere Vorteile der Umsteuervorrichtung von Knoblauch liegen darin, daß Gas- und Luftkammern vertauscht werden können und jede einzelne Kammer sowohl in der Frischgas- bezw. Luftzuführung als auch im Abzug für sich geregelt werden kann. Diese Vorteile sind von Bedeutung, um während des Betriebs entstehende Unregelmäßigkeiten ausgleichen zu können.

X. Wechselkanäle.

47. Aufgabe der Wechselkanäle.

Als Wechselkanäle bezeichnet man bekanntlich die Kanäle zwischen den Wärmespeicherkammern und den Umsteuerorganen (Gaswechsel bezw. Luftwechsel). Bei den gebräuchlichen Ofenbauarten sind vier solcher Wechselkanäle vorhanden: 2 Gaswechselkanäle und 2 Luftwechselkanäle, und zwar führt zu jeder Ofenseite je ein Gaswechsel- und ein Luftwechselkanal. Während durch die Kanäle auf der einen Seite Gas bezw. Luft vom Wechsel zu den Kammern strömt, bewegen sich durch die Kanäle auf der anderen Seite die Abgase in umgekehrter Richtung von den Kammern zu den Umsteuervorrichtungen.

Die Anordnung dieser Wechselkanäle erfolgt in den Glashütten vielfach in sehr unzweckmäßiger Weise. Die Fehler, welche dabei begangen werden, sind wohl hauptsächlich darin begründet, daß man sich der Funktion der Wechselkanäle als Teil der Wärmespeicher nicht klar bewußt ist. Die Kanäle dienen nicht nur zur Leitung von Gas, Luft und Abgasen, sondern sie nehmen ebenso wie die Kammern an dem Wärmeaustausch teil, indem die Abgase während der einen Umsteuerperiode Wärme an die Kanalwände abgeben und Gas bezw. Luft während der folgenden Periode die in den Wänden aufgespeicherte Wärme wieder entnehmen, soweit sie nicht an die Umgebung verloren gegangen ist. Der Anteil der Kanäle an dem Wärmeaustausch ist vielfach, insbesondere bei kleineren Oefen, wesentlich größer als man gewöhnlich annimmt. In den Zahlentafeln IV, V u. VI sind die als Wärmeaustauschfläche (Heizfläche) aufzufassenden Wandflächen der Kanäle für die statistisch bearbeiteten Oefen im Verhältnis zur Heizfläche des Gitterwerks eingetragen; sie liegen bei Bütten- meist zwischen 50 und 100%, bei Schlitzöfen zwischen 30 und 60%, bei Oberflammöfen zwischen 10 und 20%, vereinzelt noch höher. Die Wirkung der Kanalwandheizflächen ist daran zu erkennen, daß die kalte aus dem Luftwechsel einströmende Luft am Fuß der Kammern bereits auf Temperaturen von mehreren hundert Grad aufgeheizt ist. Die Messungen der W. B. G. zeigen Temperaturerhöhungen von etwa 30° bis 50° C für je 1 m Kanallänge; in Kanälen von z. B. 12 m Länge zwischen Wechsel und Ofen wird die Luft also auf 360° bis 600° C vorgewärmt, Werte, welche häufig gefunden werden.

Die Unzweckmäßigkeit der Kanalanordnung zeigt sich in folgenden 3 Formen:

a) Die Kanäle sind zu lang.
b) Die Gaskanäle sind länger als die Luftkanäle.
c) Die Kanäle sind auf beiden Ofenseiten verschieden lang.

48. Nachteile zu langer Kanäle.

Wie erwähnt, bilden die Kanäle ebenso wie Gitterwerk und Wände der Kammern einen Teil der Wärmespeicher. Ist zu der beabsichtigten Ausnützung der Abgaswärme eine bestimmte Größe der Wärme austauschenden Oberfläche (Heizfläche) erforderlich, oder soll die Abgastemperatur am Wechsel mit Rücksicht auf die Empfindlichkeit der Wechselorgane gegen Ueberhitzung einen bestimmten Wert, z. B. 500° C nicht überschreiten, so kann die Wärme aufnehmende Fläche verteilt werden auf Kammern und Kanäle; je kleiner die Kammern sind, desto länger müssen also die Kanäle sein. Erscheint es auch für den beabsichtigten Zweck der Wärmespeicherung zunächst gleichgültig, in welchem Verhältnis diese Verteilung erfolgt, so ergeben doch genauere Ueberlegung und meßtechnische Untersuchungen an Oefen, daß es vorteilhafter ist, die Kanäle möglichst kurz und dafür die Kammern entsprechend größer zu wählen. In den meisten Glashütten sind die Kammern zu klein, und es müssen daher die Kanäle recht lang sein, um die Abgastemperatur an den Wechselorganen auf ein zulässiges Maß herunterzubringen. Der Vorteil der kurzen Kanäle und der großen Kammern ist durch folgende zwei Umstände begründet:

a) Der Wirkungsgrad des Gitterwerks als Wärmeaustauscher ist wesentlich höher als der Wirkungsgrad der Kanalwände. Als Wirkungsgrad ist dabei das Verhältnis der an Gas und Luft übertragenen zu der von den Abgasen abgegebenen Wärme zu bezeichnen. Die Verluste bestehen in dem durch die Wände nach außen geleiteten Teil der Wärme, welcher bei den Kanälen wesentlich größer ist als beim Gitterwerk. Daher müssen für eine gewünschte Vorwärmung von Gas und Luft die Abgase bei langen Wechselkanälen mehr Wärme abgeben; die Heizflächen müssen größer sein, die Abgastemperatur am Wechsel wird niedriger. Bei gleichen Abgastemperaturen am Wechsel aber sind die erzielten Vorwärmtemperaturen geringer.

b) Die Rückströmverluste an Frischgas beim Umsteuern werden durch lange Kanäle vergrößert (vergl. Abschn. IX/45).

49. Nachteile längerer Gaskanäle.

Häufig sind die Gaskanäle länger als die Luftkanäle. Die Nachteile sind folgende:

a) Große Rückströmverluste bei langen Gaskanälen (vergl. Abschn. IX/45).

b) Zu hohe Vorwärmung des Gases im Verhältnis zur Luftvorwärmung. Es ist vorteilhafter, das Gas weniger hoch und dafür die Luft umso höher vorzuwärmen (vergl. Abschn. VII/33).

Vielfach werden schon die Gaskammern kleiner als die Luftkammern bemessen, indem sie in der Breite geringer gehalten werden; durch die größere Länge der Gaswechselkanäle wird aber die entgegengesetzte Wirkung hervorgerufen und der beabsichtigte Zweck nur unvollkommen erreicht, u. U. sogar das Gegenteil.

50. Nachteile verschiedener Länge der Kanäle auf beiden Ofenseiten.

Es ist sehr häufig, bei kreuzweise angeordneten Kammern beinahe die Regel, daß die zu einer Ofenseite führenden Gas- und Luftkanäle länger sind als die zur anderen Seite führenden. Diese Anordnung ist verfehlt, und es ist wichtig, bei Neuanlagen auf Symmetrie der Verhältnisse zu achten. Die ungleichen Längen bewirken verschieden hohe Vorwärmung auf beiden Seiten. Dementsprechend sind auch die Verbrennungstemperaturen verschieden. Die Wärmeverteilung erfolgt ungleichmäßig, der Ofen geht auf der einen Seite schärfer als auf der anderen (vergl. Abschn. VI/24). Während die Schmelze an dem einen Ofenkopf fertig ist und die Gefahr einer Hafenüberhitzung besteht, bleiben die Häfen an dem anderen Ofenkopf in der Schmelze zurück. Durch verschiedenen Scherbenzusatz und Einstellung verschieden langer Umsteuerperioden sucht man diese ungleichmäßige Wärmeverteilung auszugleichen, was aber teils nur unvollkommen möglich ist, andererseits Nachteile anderer Art zur Folge hat, auf jeden Fall aber die Ofenführung wesentlich erschwert.

Mit der Verschiedenheit der Temperaturen und der baulichen Unsymmetrie ist meist auch eine Ungleichheit der Zugverhältnisse verbunden, welche ebenfalls zu Störungen Veranlassung geben kann.

51. Ausführungsbeispiele.

Die folgenden Abbildungen zeigen einerseits häufig zu findende Ausführungsformen der Wechselkanäle, welche gegen die oben erörterten Bedingungen verstoßen, andererseits solche Anordnungen, bei welchen diese Fehler vermieden sind.

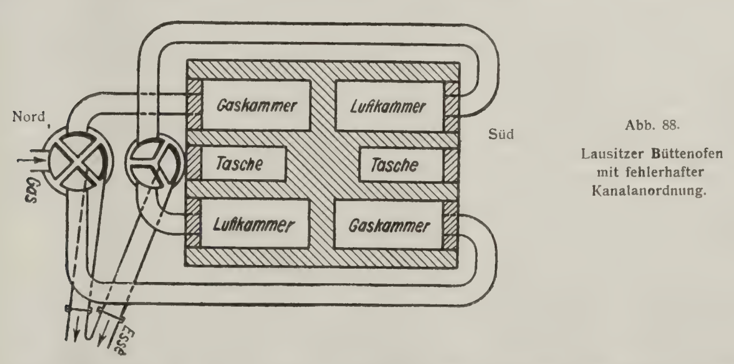


Abb. 88.
Lausitzer Büttenofen mit fehlerhafter Kanalanordnung.

Abb. 88 stellt die bei Lausitzer Büttenöfen am häufigsten verwendete Anordnung mit kreuzweise einander gegenüber liegenden Kammern gleicher Art schematisch dar. Wie ersichtlich, sind hier alle drei erwähnten Fehler gleichzeitig vorhanden:

Fast sämtliche Kanäle sind zu lang, die Gaskanäle sind länger als die Luftkanäle, die zu beiden Ofenseiten führenden Kanäle sind verschieden lang.

Die Temperaturen wurden mit Nickel/Nickel-Chromelementen gemessen und durch einen Mehrfachschreiber laufend registriert. Die mittleren Temperaturen betrugen:

Im Luftwechselkanal auf der Nordseite 340° C
„ „ Südseite 640° „
Im Gaswechselkanal auf der Nordseite 740° „
„ „ Südseite 900° „

Diese Verschiedenheiten gleichen sich wohl in den Kammern z. T. noch aus. Immerhin treten aber ihre Wirkungen im Herdraum noch deutlich in Erscheinung, indem die mit dem Ardometer gemessenen Ofentemperaturen auf der Nordseite zwischen 1340° und 1370° C lagen, auf der Südseite aber 1380° bis 1420° C betrugen. Während auf der Südseite fast reines Gemenge schmolz, konnten auf der anderen Seite fast nur Scherben eingelegt werden, und es ergab sich dort ein entsprechend minderwertigeres Glas.

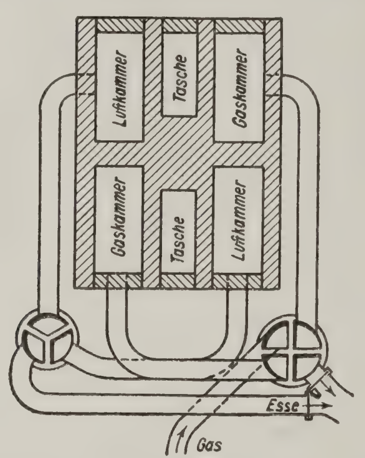


Abb. 89.

Lausitzer Büttenofen mit verbesserter Kanalanordnung.

Abb. 89 zeigt einen Vorschlag zur Abhilfe, bei welchem ohne bauliche Veränderung am Ofen und an den Kammern durch Verlegen der Wechselorgane die Längen der Kanäle zwischen Wechsel und Ofen auf beiden Seiten gleich groß werden.

Eine andere Möglichkeit der Abhilfe liegt darin, daß die Kammern auf beiden Ofenseiten verschieden hoch ausgesetzt werden und zwar auf derjenigen Seite höher, zu welcher die kürzeren Kanäle führen.

Eine grundsätzliche Verbesserung erfordert Symmetrie der Anordnung; die Kammern gleicher Art dürften also nicht kreuzweise gegenüber liegen, sondern neben einander.

Abb. 90, in welcher die Lage eines kleinen mitteldeutschen Schmelzofens schematisch dargestellt ist, zeigt, daß auch bei neben einander liegenden Kammern gleicher Art un-

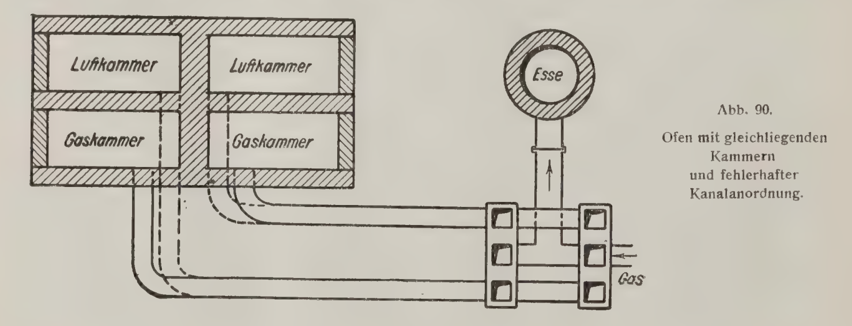


Abb. 90.

Ofen mit gleichliegenden Kammern und fehlerhafter Kanalanordnung.

zweckmäßige Anordnungen gefunden werden. Die Wechselorgane liegen nicht in der Ofenachse, sondern seitlich in einer größeren Entfernung vom Ofen. Auch hier trat die geschilderte Unregelmäßigkeit deutlich in Erscheinung. Die Nachteile könnten durch symmetrische Anordnung der Wechsel beseitigt werden.

Abb. 92 stellt eine symmetrische Anordnung der Wechsel in der Ofenachse dar, bei der beide Wechsel auf ein und derselben Ofenseite liegen.

Abb. 91 zeigt eine symmetrische Anordnung, bei der Gas- und Luftwechsel auf verschiedenen Ofenseiten liegen. Diese Anordnung ermöglicht kürzere Kanallängen für

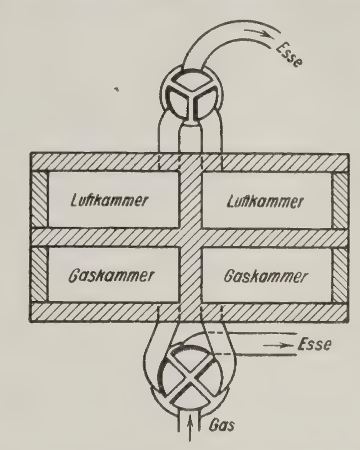


Abb. 91.

Symmetrische Anordnung der Wechselkanäle mit entgegengesetzt liegendem Gas- und Luftwechsel.

einen Wechsel und gestattet mit einer Kanalkreuzung auszukommen, während bei der anderen Lösung nach Abb. 92 3 Kreuzungen erforderlich sind. Diese Anordnung (Abb. 91) stellt die absolut günstigste Lösung dar. Die größere Entfernung der beiden Wechsel von einander stellt für die Bedienung durch einen Mann nur eine Unbequemlichkeit dar, bedingt aber keinen Nachteil für die Ofenführung.

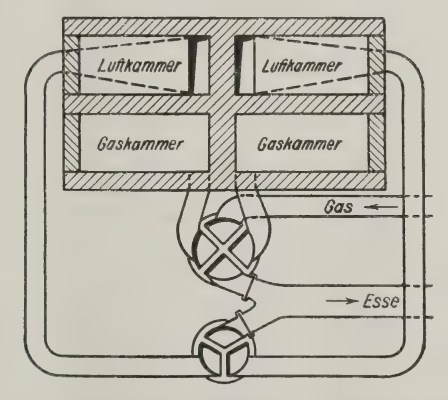


Abb. 92.

Symmetrische Anordnung der Wechselkanäle mit beiden Wechseln auf einer Seite.

Die Verkürzung der Kanallängen muß jedoch durch Vergrößerung der Kammern ausgeglichen werden.

XI. Einstellung der Verbrennung.

52. Einfluß der Verbrennungsluftmenge auf die Beschaffenheit der Flamme.

a) Einleitung.

Die Beschaffenheit der Flamme, welche bei der Verbrennung des Generatorgases im Schmelzofen entsteht, ist bei einer bestimmten Bauart des Ofens und der Brenner sowie bei gegebener Gaszusammensetzung abhängig von der Menge des Gases, welche in der Zeiteinheit verbrennt und von dem Mischungsverhältnis zwischen Gas und Verbrennungsluft. Die jeweils verbrennende Gasmenge ist durch den Wärmeverbrauch der betr. Schmelzperiode bestimmt; hingegen ist die Frage, ob und mit welchem Luftüberschuß oder ob vielleicht gar mit Gasüberschuß gearbeitet werden soll, viel umstritten. Sie kann nicht allgemein durch Angabe bestimmter Zahlen beantwortet, sondern muß von Fall zu Fall unter Anpassung an die besonderen Verhältnisse des Ofens und der Schmelzperiode untersucht werden; dabei sind wärmetechnische, schmelztechnische und glaschemische Gesichtspunkte zu berücksichtigen, welche sich z. T. auch gegenseitig beeinflussen. Um diese Frage behandeln zu können, muß vorerst erörtert werden, welchen Einfluß die Vergrößerung oder Verringerung der Verbrennungsluftmenge auf die Beschaffenheit der Flamme ausübt. Von dem Mischungsverhältnis zwischen Gas und Verbrennungsluft hängen Zusammensetzung der Verbrennungsprodukte, Länge, Temperatur, Farbe, Leuchtkraft und schließlich die chemische Wirkung der Flamme ab.

b) Begriff der theoretischen Luftmenge.

Zur vollkommenen Verbrennung des Gases ist eine bestimmte „theoretische Luftmenge“ erforderlich, welche aus der Zusammensetzung des Gases in einfacher Weise berechnet werden kann. Zur Verbrennung von 1 cbm Generatorgas ist meist eine theoretische Luftmenge von 1,0—1,3 cbm erforderlich. Findet die Verbrennung des Gases mit dieser theoretischen Luftmenge v o l l k o m m e n statt, so besteht die durch Analyse zu ermittelnde Zusammensetzung der trockenen Abgase nur aus etwa 19—20% Kohlensäure (CO_2) und etwa 79—80% Stickstoff (N_2). Brennbare Gase, wie Kohlenoxyd (CO), Wasserstoff (H_2) oder Methan (CH_4) sind nicht mehr vorhanden; auch Sauerstoff (O_2) ist nicht mehr festzustellen, weil er für die Verbrennung vollkommen verbraucht worden ist.

c) Praktische Verbrennung mit der theoretischen Luftmenge.

Führt man dem zu verbrennenden Gase eine der theoretischen gleiche Luftmenge zu, so zeigt sich, daß unter den praktisch in den Oefen vorliegenden Verhältnissen eine solche vollkommene Verbrennung im Ofenraum nicht auftritt; die Mischung von Gas und Luft ist niemals derart gleichmäßig, daß jedes brennbare Gasteilchen den erforderlichen Sauerstoff aus der Luft auch gleich findet. Die Folge davon ist, daß die Zündung sich langsamer fortpflanzt oder, wie man sich technisch ausdrückt, die Z ü n d g e s c h w i n d i g k e i t geringer ist, und es auch länger dauert, bis der größte Teil des Gases verbrannt ist, d. h. auch die V e r b r e n n u n g s g e s c h w i n d i g k e i t ist geringer. Dabei legt das strömende, brennende Gas, d i e F l a m m e, einen längeren Weg zurück, die Verbrennung ist l a n g f l a m m i g. An den Abzugsöffnungen ist die Verbrennung noch nicht beendet, sondern die Flamme erstreckt sich oft weit bis in die Kammern hinein. Aus der Analyse ist die u n v o l l k o m m e n e V e r b r e n n u n g daran zu erkennen, daß die Abgase weniger Kohlensäure, hingegen noch einige Prozente brennbare Gase, hauptsächlich Kohlenoxyd und noch etwas unverbrauchten Sauerstoff enthalten. Ein Beispiel für die mit dem O r s a t - Apparat bestimmte volumetrische Zusammensetzung der trockenen Abgase bei der Verbrennung mit der theoretischen Luftmenge ist folgendes:

16,3% CO_2, 1,2% O_2 und 2,4% CO.

Die untersuchte Abgasprobe wurde aus dem abziehenden Brennerschacht entnommen.

Messungen zeigten, daß die bei der langsameren Verbrennung mit der theoretischen Luftmenge entstehenden langen Flammen g e r i n g e r e T e m p e r a t u r e n aufweisen, als wenn die Verbrennung des gleichen Gases mit kurzer Flamme oder gar plötzlich an einer bestimmten Stelle (lokal) erfolgt; das kommt daher, daß während der ziemlich lange Zeit in Anspruch nehmenden Verbrennung verhältnismäßig große Wärmemengen an die Umgebung (Ofenwände, Häfen, Glas) abgegeben werden. Die Flamme wird also schon vor der vollständigen Verbrennung des Gases stark abgekühlt, sodaß die entstehenden Höchsttemperaturen wesentlich geringer sind als bei schneller Verbrennung. Da auf der ganzen Strecke zwischen den beiden Brennern durch Verbrennung Wärme erzeugt wird,

so ist der Temperatur-Abfall in der Strömungsrichtung geringer und die Temperaturverteilung im Ofen zwischen den beiden Brennern ziemlich gleichmäßig.

Charakteristisch für die langsame Verbrennung ohne Luftüberschuß ist das Leuchten der rötlichen oder gelblichen Flamme; es rührt her von der Lichtausstrahlung der in dem brennenden Gasstrom schwebenden festen Kohlenstoffteilchen, welche aus der durch die Hitze bewirkten Zersetzung der Kohlenwasserstoffverbindungen stammen und nur langsam in dem Maße verbrennen, als sie Sauerstoff finden. Die Kohlenwasserstoffe sind im Gas hauptsächlich enthalten als Methan (CH_4), schwere Kohlenwasserstoffe (C_mH_n), z. B. Aethylen (C_2H_4) und insbesondere als Teerdämpfe, von welchen jedes Molekül aus vielen Kohlenstoff- und Wasserstoff-Atomen besteht. Alle Kohlenwasserstoffe haben die Eigenschaft, daß sie durch hohe Temperaturen in einfachere gespalten werden (pyrogene Zersetzung) und schließlich sich in Wasserstoff und Kohlenstoff auflösen. Der Wasserstoff verbrennt fast augenblicklich, während die festen Kohlenstoffteilchen (Ruß) in der Flammenhitze zum Leuchten gebracht werden und nur langsam verbrennen, wenn nicht Luft im Ueberschuß vorhanden ist. Der Teergehalt des Gases ist also nicht nur wegen des im Teer enthaltenen Heizwertes vorteilhaft, sondern auch wegen der dadurch vergrößerten Leuchtkraft. Diese Leuchtkraft, d. h. die Ausstrahlung von Licht, ist auch immer verbunden mit einer vergrößerten Ausstrahlung von Wärme; die glühenden Kohlenstoffteilchen geben nicht nur die bei ihrer Verbrennung entstehende Wärme durch Strahlung an das Schmelzgut ab, sondern nehmen auch die Wärme aus dem brennenden Gas und strahlen sie ab.

Die chemische Wirkung der ohne Luftüberschuß brennenden Flamme ist infolge ihres Gehaltes an unverbrannten, kohlenstoffhaltigen Gasen bezw. auch an festen Kohlenstoffteilchen eine reduzierende, d. h. die Flamme kann Sauerstoff aus chemischen Verbindungen aufnehmen oder Kohlenstoff abgeben.

d) Verbrennung mit Gasüberschuß.

Wird noch weniger Verbrennungsluft zugeführt als zur vollständigen Verbrennung des Gases theoretisch erforderlich ist, d. h. erfolgt die Verbrennung mit Gasüberschuß, so treten die für die unvollständige Verbrennung charakteristischen Eigenschaften der Flamme in verstärktem Maße auf. Die Verbrennung erfolgt schleichend, mit langer, rot-leuchtender und oft qualmender Flamme bei niedrigen Temperaturen mit ziemlich gleichmäßiger Verteilung in der Strömungsrichtung. Die Abgase enthalten am abziehenden Brenner noch größere Mengen unverbrannter Bestandteile und Ruß aus der Zersetzung der Kohlenwasserstoffe, auf welche das Qualmen zurückzuführen ist. Ein Beispiel für die volumetrische Zusammensetzung der Abgase bei Verbrennung mit Luftmangel ist folgendes:

16,0% CO_2, 5,1% CO und 0,3% O_2.

Die Flamme hat ausgesprochen reduzierende Eigenschaften.

e) Verbrennung mit Luftüberschuß.

Mit wachsendem Luftüberschuß verlieren sich allmählich die Erscheinungen der unvollkommenen Verbrennung. Die Flamme wird kürzer, die Farbe geht aus dem Rötlichen und Gelblichen ins Bläuliche und schließlich Farblose über, die Leuchtkraft sinkt. Die Verbrennungstemperatur ändert sich mit dem Luftüberschuß nicht eindeutig. Rechnerisch ergibt sich wohl die durchschnittliche Temperatur umso niedriger, je höher der Luftüberschuß ist, was ohne weiteres aus der Ueberlegung hervorgeht, daß der Luftüberschuß die Verbrennungsprodukte abkühlt. Praktisch zeigt sich aber, daß, wenn die Luftmenge von dem theoretisch erforderlichen Wert ohne Ueberschuß bis zu einem gewissen Luftüberschuß steigt, die Flammentemperatur zunächst höher wird; und zwar deshalb, weil die Zündgeschwindigkeit infolge der besseren Durchmischung des Gases mit der Luft steigt, die Verbrennung schneller die ganze Gasmasse ergreift und früher beendet ist. Dadurch entstehen auf dem kürzeren Flammenwege höhere Temperaturen, während der Temperaturabfall in der Strömungsrichtung rascher erfolgt als bei geringerer Luftzuführung; und zwar einmal deshalb, weil nach dem Ausbrennen auf der kurzen Flammenstrecke keine weitere Wärmeerzeugung auf dem Strömungsweg der Abgase mehr eintritt und sodann wegen der im weiteren Verlauf des Strömungsweges eintretenden Mischung der Verbrennungsprodukte mit dem Luftüberschuß. Schließlich nimmt die Temperatur auch deshalb rascher ab, weil mit der höheren Anfangstemperatur der Temperaturabfall gegen das Schmelzgut und damit auch die an dieses abgegebene Wärmemenge steigt. Die Folge der hohen Anfangstemperatur und des schnellen Temperaturabfalls ist eine sehr ungleichmäßige Temperatur- und Wärmeverteilung zwischen den Brennern.

Die Menge der unverbrannten Bestandteile am abziehenden Brenner sinkt mit wachsendem Luftüberschuß und verschwindet schließlich bei einem bestimmten Werte desselben.

Dieser Wert kann nicht allgemein angegeben werden; er schwankt meist zwischen 10 und 30% der theoretischen Luftmenge, und es kann der erforderliche Luftüberschuß durch alle Mittel verringert werden, welche die Zündgeschwindigkeit erhöhen. Der Luftüberschuß zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung braucht also umso geringer zu sein, je höher Gas und Luft vorgewärmt sind und je früher und inniger die Mischung von Gas und Luft erfolgt. Mit wachsender Ausströmungsgeschwindigkeit wird die Mischung verbessert und daher die Zündgeschwindigkeit erhöht. Insbesondere steigt die Zündgeschwindigkeit mit dem Wasserstoffgehalt des Gases; höherer Wasserstoffgehalt ergibt schon bei sehr geringem Luftüberschuß volle Verbrennung mit kurzer, heißer, beinahe farbloser Flamme, u. U. mit ausgesprochener Stichflamme.

Ein Beispiel für die vollkommene volumetrische Zusammensetzung der trockenen Abgase bei Verbrennung mit einem Luftüberschuß von 30% ist folgendes:

15,3% CO_2 und 4,8% O_2.

(Bei der Nachrechnung des Luftüberschusses ist zu berücksichtigen, daß ein Teil der Kohlensäure im Abgas aus der Zersetzung des Gemenges herrührt.)

In chemischer Beziehung gewinnt die Flamme mit wachsendem Luftüberschuß immer stärker oxydierenden Charakter, d. h. der in ihr enthaltene freie Sauerstoff kann chemische Verbindungen mit dem Schmelzgut eingehen. (Abbrand, Brandflecken.)

53. Gesichtspunkte für die Einstellung der Flamme.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, ist die Einstellung des Luftüberschusses für die Verbrennung durch wärmetechnische, schmelz- und betriebstechnische sowie glaschemische Bedingungen beeinflußt.

a) Der rein wärmetechnische Standpunkt hat das Ziel im Auge, den Wirkungsgrad des Ofens möglichst groß zu halten, d. h. einen möglichst großen Teil der im Gas enthaltenen Wärme dem Schmelzprozeß zuzuführen. Die Einstellung der Verbrennung muß dabei so erfolgen, daß die Abgase möglichst wenig Wärme aus dem Ofenraum mitnehmen. Der Wärmeinhalt der Abgase setzt sich zusammen aus der fühlbaren Wärme (Produkt aus Abgasmenge, spezifischer Wärme und Temperatur), vermehrt um den Heizwert der noch brennbaren Bestandteile. Der Wärmeinhalt der Abgase ist ein Minimum bei einem ganz bestimmten Luftüberschuß, welcher von Fall zu Fall durch Versuch und Rechnung zu ermitteln ist. Die fühlbare Wärme wird umso geringer, je geringer die Abgasmenge und je niedriger ihre Temperatur am abziehenden Brenner ist. Die Gasmenge nimmt mit sinkendem Luftüberschuß ab; die Austrittstemperatur ist hingegen umso niedriger, je kürzer und heißer die Flamme am Einströmbrenner ist; nimmt also bis zu einer gewissen Grenze mit wachsendem Luftüberschuß ab. Der Höchstwert der Temperatur wird bei einem bestimmten Luftüberschuß erreicht, welcher nach den bereits erörterten Bedingungen von der Bauart des Ofens und der Brenner, der Höhe der Vorwärmung von Gas und Luft, der Einströmgeschwindigkeit und der Gaszusammensetzung abhängt.

Ebenso gehört zur Erzielung einer vollkommenen Verbrennung ein bestimmter Luftüberschuß. Die unvollkommene Verbrennung, wie sie bei zu geringem Luftüberschuß eintritt, bedeutet erhebliche Wärmeverluste. Aus 1 cbm Frischgas entstehen unter normalen Verhältnissen etwa 2 cbm Abgas. 1% Kohlenoxyd im Abgas entspricht also 2% Kohlenoxyd im Frischgas, was bei einem Heizwert des Kohlenoxyds von 3050 WE/cbm einen Heizwertverlust von

0,02 . 3050 = 61 WE/cbm Gas bedeutet.

Bei einem Heizwert des Gases von rd. 1500 WE/cbm verursacht also jedes Prozent CO im Abgas einen Wärmeverlust von 4%; hierzu kommen noch Verluste durch unverbrannten Wasserstoff und Kohlenstoff in Form von Ruß. Vom rein wärmetechnischen Standpunkt aus soll also vollkommene und schnelle Verbrennung mit scharfer und kurzer Flamme bei möglichst hoher Anfangstemperatur und möglichst geringem Luftüberschuß erstrebt werden.

b) Vom schmelz- und betriebstechnischen Standpunkt aus ist das Ziel, eine möglichst rasche Schmelze bei möglichster Schonung des Ofens bezw. auch der Häfen zu erreichen. Die Verhältnisse sind dabei verschieden, je nachdem, ob das Schmelzen im Wannen- oder Hafenofen erfolgt.

Beim Hafenofen ist für eine rasche Schmelze außer den hohen Temperaturen auch eine möglichst gleichmäßige Wärmeverteilung auf die einzelnen Häfen erforderlich, sodaß die Schmelze in allen Häfen in ungefähr gleicher Zeit beendet ist und nicht ein-

zelne Häfen zuviel, die anderen zu wenig Wärme erhalten. Die kurzflammige, schnelle Verbrennung mit hohen lokalen Temperaturen ist dafür nicht immer geeignet, da der Temperaturabfall in der Flammenrichtung zu schnell erfolgt und in der Mitte des Ofens die Temperatur auch unter Berücksichtigung der Umsteuerung dauernd niedriger bleibt als an den Brennern.

Insbesondere bei großräumigen Oefen für größere Leistungen ist es kaum möglich, die erforderliche gleichmäßige Wärmeverteilung mit schneller, kurzflammiger Verbrennung zu erzielen. Man braucht eine lange Flamme mit geringem Temperaturabfall zwischen den Brennern, muß also mit entsprechend geringem Luftüberschuß arbeiten. Freilich sinkt dadurch auch die Temperatur am Flammeneintritt und daher auch der wärmetechnische Wirkungsgrad des Ofens. Der Brennstoffverbrauch für die Schmelze steigt.

Wesentlich vorteilhafter liegen die Verhältnisse bei dem neuen Vielflamm-Hafenofen von Knoblauch.

Während bei dem gewöhnlichen Hafenofen die Einstellung der Flamme also nicht immer nach den wärmetechnisch günstigsten Bedingungen erfolgen darf, kann bei Wannenöfen mit scharfer, heißer Flamme geschmolzen werden, da die auch lokal an das Gemenge oder Glas übertragene Wärme sich durch Wärmeleitung schnell verteilt. Diese günstige Einstellung der Verbrennung beim Wannenofen ist einer der Hauptgründe für die wärmetechnische Ueberlegenheit des Wannenofens, welche sich in einem geringen Verbrauch an Brennstoff für die Schmelze äußert.

Auch die Leuchtkraft der Flamme ist bei Wannen- und Hafenöfen von verschiedenem Einfluß. Bei der Wanne wird wohl in den meisten Fällen der größte Teil der Wärme durch die direkte Berührung der auf das Bad geworfenen Flamme übertragen, sodaß auch bei blauer, nicht leuchtender heißer Flamme eine gute Wärmeübertragung auf das Schmelzgut erfolgt. Anders bei Hafenöfen! Hier wird nur ein Teil der Wärme durch direkte Berührung von der Flamme an die Häfen und durch Leitung durch die Hafenwand hindurch an das Glas übertragen. Der größere Teil wird wohl durch Strahlung der Flamme auf den Glasspiegel an den Hafeninhalt abgegeben, insbesondere bei Oberflammöfen, bei welchen die Wärmeübertragung durch die Hafenwand hindurch sicher verhältnismäßig gering ist. Dazu kommt wohl noch die Strahlung des Gewölbes auf das Glas; sie ist bei Büttenöfen besonders wichtig. Auf jeden Fall spielt aber bei allen Hafenöfen die Strahlung der Flamme eine sehr große Rolle, hauptsächlich in Perioden, wo mit kurzer Flamme gearbeitet wird. Dabei ist auf die zeitliche Veränderung der Bedingungen im Verlauf der Schmelze Rücksicht zu nehmen. Bei der Silikatbildung, also dem ersten Teil der Schmelze tritt wegen der dabei erfolgenden chemischen Umsetzungen der höchste Wärmeverbrauch auf; die Menge des zugeführten Gases ist am größten, die Ausströmgeschwindigkeit aus den Brennern die höchste und daher die Flamme am längsten. Es bereitet hier keine Schwierigkeiten, überall am Ofen Feuer zu haben, sodaß die Wärmeverteilung günstig ist. Anders liegen die Verhältnisse nach dem Bülwern in der Läuterperiode oder Feinschmelze. Dabei läßt der Wärmeverbrauch nach, da wärmebindende chemische Reaktionen nicht mehr vor sich gehen, und die Glasmasse nur vor dem Abkühlen geschützt werden muß. Gas und Luft werden immer mehr zurückgenommen. Die Flamme wird kürzer und füllt den Ofen immer weniger aus. Die Wärmeübertragung durch direkte Berührung zwischen Flamme und Hafen bezw. Flamme und Glas ist nur gering und es ist daher von großem Vorteil, der Flamme eine möglichst starke Leuchtkraft zu verleihen, also mit geringerem Luftüberschuß zu arbeiten.

Bei Hafenöfen ist eine schnelle Verbrennung mit größerem Luftüberschuß auch deshalb nicht erwünscht, weil durch die scharfe Flamme ein Hafenbruch entstehen kann. Eine strahlungsfähige, also leuchtende Flamme ist von Vorteil. Insbesondere ist dies bei Büttenöfen der Fall. Ist ein solcher Ofen mehrere Monate im Betrieb, so sind die Brenner meist ausgeschmolzen; sie sind breiter geworden und gleichen Trichtern. Die Flamme wird an ihrer Basis breiter, geht auseinander und greift die Eckhäfen stark an. Eine verbrennungstechnisch gut eingestellte, scharfe Flamme würde in einem solchen Ofen bewirken, daß die Eckhäfen heruntergeschürt werden, ohne daß das Gemenge der mittleren Häfen rechtzeitig schmilzt; die Flamme ist zu kurz und füllt nur einen kleinen Teil des Ofens aus. Schon vergrößerte Bütten, aus welchen scharfe Flammen brennen, schmelzen sehr leicht zu förmlichen Kratern aus. Bei Oberflammöfen sind die Eckhäfen weniger gefährdet, sondern bleiben im Gegenteil oft in der Schmelze zurück.

Auch bei Wannenöfen muß natürlich die Wirkung der Flamme auf Brenner und Gewölbe beachtet werden. Zu scharfe lokale Verbrennung führt insbesondere bei unzweckmäßigen Brennerkonstruktionen leicht zu einem Tropfen des Gewölbes und der Brenner und einer Verunreinigung des Glases.

c) Vom glaschemischen Standpunkt aus ist auf die chemische Wechselwirkung zwischen Flamme und Glas Rücksicht zu nehmen. Sie ist ohne merklichen Einfluß, wenn bei der Schmelze Soda (Na_2CO_3) als alkalisches Flußmittel verwendet wird, und es kann dann die Verbrennung nur nach den bereits erörterten wärme- und betriebstechnischen Gesichtspunkten eingestellt werden. Wird aber Glaubersalz (Natrium-Sulfat Na_2SO_4) allein oder in größeren Mengen als alkalisches Flußmittel zugesetzt, so ist nach der vorherrschenden Meinung eine mehr oder minder stark reduzierende Flamme erforderlich; es soll durch Verminderung der Luftzufuhr unvollkommene Verbrennung, Rauchfeuer, erzielt werden. Wieweit ist diese Forderung berechtigt?

Glaubersalz hat im Gegensatz zu Soda die Eigenschaft, sich auch bei hohen Temperaturen nicht ohne weiteres in glasbildendes Natron (Na_2O) und Schwefeltrioxyd (SO_3), welches gasförmig entweicht, zu zersetzen. Durch Zuführung von Kohlenstoff wird das schwer zersetzliche Sulfat (Na_2SO_4) in leichter zersetzliches Sulfit (Na_2SO_3) verwandelt und zwar dadurch, daß der Kohlenstoff dem Sulfat Sauerstoff entzieht und mit diesem Sauerstoff zu Kohlenoxyd bezw. Kohlensäure verbrennt.

Zu dieser Reduktion des Sulfats wird dem Gemenge Kohlenstoff in Form von Holzkohle, Koks oder Anthrazit zugesetzt. Auch bei genügendem Zusatz an solcher sog. „Schmelzkohle" ist es jedoch nicht immer möglich, eine vollständige Reduktion des Sulfats zu erzielen; das unzersetzte Glaubersalz gibt Veranlassung zur Bildung der sog. „Glasgalle", welche zum größten Teil aus geschmolzenem Sulfat besteht und auf dem Glase schwimmend dessen Qualität herabsetzt. Ist die Menge der Galle nicht zu groß, so kann sie noch nachträglich durch Reduktion mit Kohlenstoff zersetzt und unschädlich gemacht werden. Das geschieht entweder durch Aufstreuen von kohlenstoffhaltigem Pulver oder Holzstückchen, oder aber durch die reduzierende Wirkung von Rauchfeuer, welches reaktionsfähigen Kohlenstoff im Kohlenoxyd und Ruß enthält. Ist man gezwungen, die Galle auf diese Weise abzubrennen, so wird die oberste Glasschicht infolge des plötzlich auftretenden verglasbaren Natrons alkalireicher als die weiter unten liegenden Glasschichten; auch bei gutem Bülwern läßt sich diese weichere Oberfläche des Glases nicht mehr gleichmäßig mit der übrigen Glasmasse mischen, sodaß kein homogenes Glas erzielt wird. Arbeitet man aber bei dem Niederschmelzen des Gemenges mit reduzierender Flamme, so tritt nicht nur keine Gallenbildung ein, sondern das Glas wird auch homogener, weil das Sulfat in dem Maße, wie es hoch kommt, sofort reduziert und verglast wird.

Während also wärmetechnische Rücksichten für eine vollständige Verbrennung mit Luftüberschuß sprechen, so ist bei der Glaubersalz-Schmelze eine unvollkommene Verbrennung mit reduzierender Flamme aus glaschemischen Gründen von Vorteil. Natürlich darf zur Vermeidung von größeren Brennstoffverlusten durch die unvollkommene Verbrennung die Verbrennungsluftmenge nicht kleiner gehalten werden, als es für die beabsichtigte chemische Wirkung der Flamme unbedingt erforderlich ist. Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, daß es in keinem Fall nötig ist, über 1—1,5% Kohlenoxyd in den Abgasen zu gehen. Oft wird man mit geringerem Gehalt an reduzierenden Gasen auskommen. Der günstigste Wert muß in jedem einzelnen Fall durch systematische Beobachtung und Versuche festgestellt werden. Dagegen wird sehr oft gefehlt und die Untersuchungen der W. B. G. haben in vielen Fällen gezeigt, daß die Abgase am abziehenden Brenner noch 4, 5 und mehr Prozente Kohlenoxyd enthalten, ohne daß es erforderlich ist. Damit wird natürlich der Brennstoffverbrauch für die Schmelze ganz erheblich heraufgesetzt.

Schmilzt man Bleiglas, zumal im offenen Hafen, so muß eine reduzierende Flamme nach Möglichkeit vermieden werden.

54. Ursachen des Luftmangels.

Aus den vorstehenden Erörterungen geht hervor, daß unter besonderen Umständen trotz der Bedenken vom rein wärmetechnischen Standpunkte aus eine unvollkommene Verbrennung mit zu geringer Luftmenge absichtlich herbeigeführt wird.

Weit zahlreicher jedoch sind die Fälle, wo unabsichtlich mit unvollkommener Verbrennung gearbeitet wird; z. T. ist dies auf den Mangel an technischer Einsicht bei der Bedienung zurückzuführen. Man glaubt, die zu geringe oder aus irgend welchen Gründen nachlassende Leistung des Ofens steigern zu können, indem man ihm mehr Gas zuführt, ohne die Luftzufuhr in gleichem Maße zu erhöhen. Das ist natürlich unrichtig, denn das im Ofen nicht verbrennende Gas kann auch keine Wärme erzeugen; im Gegenteil wirkt erfahrungsgemäß ein Gasüberschuß stärker abkühlend als ein Luftüberschuß von gleicher

Höhe. Man hat wohl den Ofen voll Feuer, an das Schmelzgut wird aber dabei weniger Wärme übertragen als bei geringerer Gaszufuhr.

In zahlreichen Fällen ist auch die Luftzufuhr geringer, als den Abmessungen des Herdraumes entspricht und die Wärmeleistung pro qm Herdfläche und Stunde liegt dadurch unter dem bei der Glasschmelze üblichen Werte von 10 000 bis 15 000 WE/qm Herdfläche und Stunde. Dies liegt daran, daß der Auftrieb in der Luftkammer, welche die Verbrennungsluft in den Ofen fördern soll, zu gering ist. Die Ansicht, daß die Luft durch den Schornstein in den Ofen gesaugt wird, ist in den meisten Fällen nicht begründet. Es soll bei normalem Betrieb im Herdraum ungefähr atmosphärischer Druck (± O) oder ein leichter Ueberdruck vorhanden sein, sodaß die Flammen ein wenig aus den Arbeitsöffnungen herauslecken. Wird durch zu scharfen Zug des Schornsteins im Herdraum ein Unterdruck hervorgerufen, so wird dadurch nicht nur die vorgewärmte Verbrennungsluft durch die Kammern in den Herdraum gesaugt, sondern es dringt auch durch alle Undichtigkeiten und Oeffnungen des Oberofens kalte Falschluft in unkontrollierbaren Mengen ein, welche abkühlend wirkt und u. U. auch die Häfen beschädigt. Der Schornstein soll nicht die Verbrennungsluft in den Ofen fördern, sondern hat nur die Aufgabe, die Abgase aus dem Ofen abzusaugen.

Wird der Zug verringert, so entsteht am Ofen ein Ueberdruck, welcher Gas- und Luftzufuhr zum Ofen hemmt. Die Leistung des Ofens läßt nach und kann auch durch Erhöhung des Gasdrucks, also vermehrte Gaszuführung nicht merklich vergrößert werden, wenn nicht auch die Menge der zugeführten Verbrennungsluft entsprechend gesteigert wird.

Der die Verbrennungsluft in den Ofen fördernde Auftrieb ist abhängig von der Höhe der Luftkammern und der Temperatur der Luft in den Kammern. Bei den meisten Glasöfen sind die Luftkammern zu knapp bemessen, sodaß schon geringe bauliche Beschädigungen oder Veränderungen, wie sie im Laufe der Betriebszeit eintreten, einen Mangel an Verbrennungsluft bewirken. Größere Luftkammern, vor allem aber h ö h e r e L u f t k a m m e r n, sind daher wichtig, um die Verbrennungsluftmenge in der erforderlichen Höhe einzustellen.

Die Aenderung der geförderten Luftmenge mit der Temperatur erfolgt nicht eindeutig. Der Auftrieb nimmt wohl mit wachsender Temperatur zu; hingegen sinkt das spezifische Gewicht der Luft, sodaß die geförderte Luftmenge schließlich wieder zu sinken beginnt.

Daß zu kalte Kammern eine unvollkommene Verbrennung mit Rauch und Ruß bewirken können, ist bekannt. Sie tritt z. B. augenscheinlich bei Hafenöfen auf, wo während der Arbeit nicht gewechselt wird, sondern der Ofen auf sog. „K o n s t a n t f e u e r u n g" gestellt ist. Dabei wird der Ofen aus beiden Brennern gleichzeitig beheizt und sämtliche Kammern erhalten Frischluft bezw. Frischgas; die Abgase ziehen nicht durch die Kammern ab, ihre Wärme geht dadurch vollständig verloren. Diese Stellung ist in Hohlglashütten, zumal bei Oefen, an denen aufgetriebene Gegenstände gearbeitet werden, recht häufig im Gebrauch. Bereits nach 2—3 Stunden sind die Kammern bis zur Hälfte herauf schwarz; gegen Ende der 8—9 stündigen Arbeitszeit sind sie vielfach bis in die oberste Steinlage hinein schwarz oder wenigstens stark abgekühlt. Setzt nun die Schmelze ein, so wird wieder gewechselt; der Ofen soll so schnell wie möglich aufgeheizt werden, bekommt also gleich ein Maximum an Gas. Durch den Nachschub aus den Generatoren ist wohl die erforderliche Gasmenge in den Ofen zu bringen, aber der Auftrieb in den kalten Kammern reicht meist nicht aus, um die entsprechende Luftmenge anzusaugen. Erst nach 2—3 maligem Wechseln wird der Zug und damit die Luftzuführung besser. Dieser Uebelstand wäre wohl durch richtige Bemessung der Kammern und Kanäle zu beseitigen, aber wie bereits erwähnt, sind in den meisten Glashütten die Kammern zu knapp bemessen. Es ist also in den ersten Stunden der Schmelze nach Konstantstellung ein wenn auch schwaches Rauchen des Schornsteins und unvollkommene Verbrennung nicht immer zu vermeiden.

Steht der Ofen auch bei der Ausarbeitung auf Wechselfeuerung, sodaß also eine stärkere Abkühlung der Kammern und eine entsprechende Verminderung des Auftriebs der Luft nicht eintritt, so entfällt dieser Uebelstand.

Eine der häufigsten Ursachen für die unbeabsichtigte unvollkommene Verbrennung ist der Luftmangel infolge U n d i c h t h e i t d e s L u f t w e c h s e l s (vergl. Abschn. IX, 41 und 42).

Die W. B. G. empfiehlt daher, dem Beispiel der Eisenindustrie folgend, die unvollkommenen Luftwechselklappen der Regenerativöfen zu ersetzen durch besser dichtende Umsteuerorgane, z. B. Glockenventile in der Art der Gaswechsel (vergl. Abschn. IX/43) oder weniger Raum einnehmenden Forter-Ventile (verg. Abschn. IX/44).




BUCHDRUCKEREI VOIGT & GLEIBER FRANKFURT A. M. BIEBER-GASSE 6,

W 1 I

2

gl.

0

5

0

4

4

00

7

26.

Wärmetechnische Beratungsstelle
der deutschen Glasindustrie
Frankfurt a. M.

Herdraum, Häfen und Brenner von Büttenöfen

1	Ofen Nr.	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10	B 11	B 12	B 13	B 14	B 15	B 16	B 17	B 18	B 19	B 20	B 21	B 22	B 23	B 24	B 25	B 26	B 27	B 28	B 29	B 30	B 31	B 32
2	Art des Glases	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Tafelgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Tafelgl.
3	Herdfläche des Ofens . . qm	4,7	5,0	6,9	7,0	7,5	8,5	9,0	9,4	9,6	10,1	10,2	10,8	11,9	12,2	12,2	12,8	13,3	13,7	13,8	14,2	14,6	15,6	15,6	16,0	16,0	16,1	16,6	16,7	17,7	20,0	21,7	27,6
4	Inn. Länge des Herdraums . m	2,55	3,20	4,00	3,74	4,00	4,50	3,97	4,00	4,54	4,00	4,00	4,56	4,95	5,10	5,10	5,15	5,55	5,00	5,50	5,44	6,00	6,00	6,20	6,00	5,60	6,20	5,80	5,90	5,00	7,30	6,50	7,00
5	„ Breite „ „ . . m	2,35	2,00	2,20	2,38	2,40	2,40	2,90	3,00	2,70	3,20	3,24	2,95	3,05	3,05	3,05	3,16	3,05	3,05	3,20	3,32	3,10	3,30	3,20	3,40	3,65	3,30	3,65	3,62	4,50	3,50	4,25	3,95
6	„ Höhe „ „ . . m	1,38	1,35	1,32	1,40	1,38	1,38	1,30	1,30	1,70	1,30	1,24	1,30	1,30	1,30	1,30	1,45	1,30	1,30	1,36	1,38	1,30	1,38	1,40	1,38	1,30	1,40	1,30	1,18	2,00	1,50	1,20	1,40
7	Rauminhalt „ „ . . cbm	6,1	6,5	8,6	9,1	9,8	11,0	11,1	11,3	15,4	12,5	12,2	13,0	14,3	15,1	15,1	18,0	16,0	16,5	17,7	18,5	17,5	20,3	20,9	20,5	19,0	20,9	19,8	17,6	31,8	27,5	23,0	35,0
8	Stärke des Gewölbes . . cm	25	25	25	25	25	28	25	25	25	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	15	25	25	18
9	„ „ Bodens . . . cm	60	60	25	60	60	60	93,5	100	80	80	80	80	100	105	105	30	100	100	92	84	100	80	101	85	100	105	100	100	100	95	95	98
10	Anzahl der Häfen	4	8	8	10	12	12	6	8	12	16	14	10	12	8	10	10	14	12	12	10	12	12	10	10	12	10	12	8	10	12	12	8
11	Ob. Innendurchm. „ „ cm	73	55	60	73	70	73	93	80	60	60	60	73	80	87	87	84	82	80	82	81	80	81	98,5	88	108	106	108	119	86	96	100	124
12	Unt. „ „ „ cm	61	45	50	61	60	61	85,5	74	50	48	48	61	74	80	80	78	78	74	72	70	74	70	91	73	98	98	98	115	76	85	80	114
13	Innere Höhe „ „ cm	55	53	55	55	55	55	49	55	55	58	58	48	55	49	49	55	55	55	51	53	55	53	50	48	50	50	50	68	53	58	54	71
14	„ „ : ob. Innendurchm. %	75,3	96,5	96,5	72,7	75,7	72,7	52,7	—	96,5	96,7	96,7	65,8	—	—	56,3	65,4	67,0	—	62,2	65,5	—	65,5	50,8	54,6	—	47,2	—	57,2	—	60,4	56,8	—
15	Mantelstärke cm	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	7,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	5,0	6,5	6,5	8,0	6,5	5,0	7,0	6,5	5,0	6,5	7,0	6,0	6,0	7,0	6,0	12,0	7,0	7,0	6,0	9,0
16	Bodenstärke cm	10,0	7,0	10,0	11,0	10,0	10,0	10,0	8,0	10,0	7,0	7,0	12,0	8,0	10,0	10,0	10,0	8,0	8,0	11,0	10,0	8,0	10,0	10,0	12,0	10,0	10,0	10,0	12,0	12,0	12,0	11,0	11,0
17	Spiegelfläche eines Hafens qm	0,420	0,237	0,283	0,420	0,385	0,420	0,679	0,503	0,283	0,283	0,283	0,420	0,593	0,597	0,594	0,554	0,528	0,503	0,528	0,515	0,503	0,515	0,762	0,610	0,916	0,885	0,916	1,110	0,580	0,724	0,785	1,200
18	Fassungsvermögen„ „ lit	196	104	132	196	183	106	306	256	132	135	135	171	256	268	268	283	276	256	238	239	256	239	353	247	417	410	417	730	274	374	348	790
19	Gesamt-Hafenspiegel : Herdfl. %	35,8	37,7	32,6	36,8	51,0	46,6	43,2	43,0	37,1	33,2	35,8	38,5	45,0	38,5	36,6	43,2	47,5	40,8	39,5	36,2	38,9	39,7	46,7	38,2	50,1	48,0	48,3	53,3	32,8	43,2	40,4	35,0
20	Länge einer Büttenöffnung cm	50	80	58	60	65	80	50	65	70	60	60	64	80	70	70	80	80	80	96	90	80	90	90	100	80	90	80	115	80	150	100	120
21	Breite „ „ cm	20	20	28	22	25	25	30	35	28	30	30	28	40	34	34	40	40	40	30	30	40	30	36	30	40	36	40	36	30	45	38	36
22	Querschn. „ „ qcm	1000	1600	1625	1320	1625	2000	1500	2275	1960	1800	1800	1790	3200	2380	2380	3200	3200	3200	2880	2700	3200	2700	3240	3000	3200	3240	3200	4130	2400	6750	3800	4320
23	Querschn. einer Bütte : Herdfl. %	2,13	3,17	2,36	1,89	2,15	2,35	1,66	2,42	2,03	1,78	1,76	1,66	2,69	1,95	1,95	2,50	2,40	2,34	2,09	1,90	2,19	1,73	2,07	1,88	2,00	2,01	1,93	2,47	1,36	3,38	1,75	1,57

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung“ 1926.

Wärmetechnische Beratungsstelle
der deutschen Glasindustrie
Frankfurt a. M.

Herdraum, Häfen und Brenner von Schlitzöfen

1	Ofen-Nr.	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16	S 17
2	Art des Glases	Spiegelglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Tafelglas	Hohlglas	Tafelglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Tafelglas	Tafelglas	Hohlglas	Tafelglas	Tafelglas	Hohlglas	Hohlglas	Hohlglas	Tafelglas
3	Herdfläche des Ofens . . . qm	11,6	12,0	12,0	13,2	14,9	15,0	16,4	17,2	19,6	20,1	21,4	22,2	23,1	23,6	23,6	23,7	33,1
4	Innere Länge des Herdraumes . . . m	3,58	3,70	3,65	4,05	6,20	4,30	4,89	5,20	5,60	5,60	6,80	6,12	6,00	7,00	7,00	7,20	6,90
5	„ Breite „ „ . . . m	3,25	3,25	3,30	3,25	2,40	3,50	3,35	3,30	3,50	3,60	4,00	3,64	3,85	4,30	4,30	4,20	4,80
6	„ Höhe „ „ . . . m	1,53	1,55	1,60	1,55	1,35	1,33	1,57	1,54	1,33	1,60	1,70	1,50	1,47	1,60	1,60	1,55	1,70
7	Rauminhalt „ „ . . . cbm	16,5	17,3	17,9	19,0	18.9	18,2	24,0	24,6	23,7	29 8	42,7	30,7	31,0	44,0	44,0	43,8	51,0
8	Stärke des Gewölbes . . . cm	25	25	25	25	20	25	24	25	25	25	25	24	25	25	25	25	25
9	„ „ Bodens . . . cm	63	60	60	60	55	80	28	60	80	60	100	34	83	100	100	100	100
10	Anzahl der Häfen . . .	6	6	6	6	16	6	8	8	8	8	12	8	8	12	10	10	8
11	Oberer Innendurchmesser der Häfen . . . cm	101	102	98	112	65	118	98,5	99	118	112	75	131	115	75	112	112	142
12	Unterer „ „ „ . . . cm	81	97	88	106	53	100	86	90	100	106	66	115	104	66	100	100	135
13	Innere Höhe „ „ . . . cm	77	75	74	74	58	71	70	70	71	74	66	63	72	66	59	59	63
14	Mantelstärke (oben) der Häfen . . . cm	8,0	7,5	10,0	9,0	4,0	7,5	8,2	9,0	7,5	9,0	10,0	9,0	9,0	10,0	9,0	9,0	9,0
15	Bodenstärke „ „ . . . cm	10	11	11	8	9	12	10	10	12	8	14	12	12	14	11	11	12
16	Spiegelfläche eines Hafens . . . qm	0,800	0,817	0,754	0,984	0,331	1,090	0,760	0,770	1,090	0,985	0,442	1,345	1,040	0,442	0,980	0,980	1,580
17	Fassungsvermögen eines Hafens . . . lit	500	582	503	691	158	666	470	490	666	690	258	750	680	258	452	452	948
18	Gesamt-Hafenspiegel: Herdfläche . . . %	41,5	39,6	37,7	44,7	35,6	48,6	37,1	35,8	44,7	39,2	24,8	48,5	36,0	22,5	43,4	43,3	37,2
19	Anzahl der Gasschlitze eines Brenners . . .	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20	Querschn. aller „ „ „ . . qcm	1260	1156	1369	1258	1050	1080	1536	1320	1408	1428	1800	1400	1632	1800	1800	1800	1920
21	Länge eines Gasschlitzes . . . cm	36	34	37	37	17,5	18	32	30	22	21	30	28	25/23	30	30	30	32
22	Breite „ „ . . . cm	35	34	37	34	30	30	22/26	22	32	34	30	25	34	30	30	30	30
23	Anzahl der Luftschlitze eines Brenners . . .	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
24	Querschn. aller „ „ „ . . qcm	1440	1292	1624	2040	1050	1380	1665	1200	1470	1632	1980	1680	1734	1980	1980	1980	2430
25	Länge eines Luftschlitzes . . . cm	36	19	37	30	17,5	15,3	32	30	15,3	16	33	28	18/17 16	33	33	33	2×24 1×33
26	Breite „ „ . . . cm	20	34	22	34	30	30	26	20	32	34	30	20	34	30	30	30	30
27	Gesamtquerschn. eines Brenners: Herdfläche %	2,33	2,04	2,50	2,50	1,41	1,64	1,95	1,47	1,47	1,52	1,76	1,39	1,46	1,60	1,60	1,59	1,32
28	Entnomm. Glasmenge: Fassungsverm. d. Häf. in %	49,5	26,7	68,8	27,1	47,5	59,6	52,2	58,8	50,7	30,4	60,7	64,0	62,3	60,7	66,3	66,3	38,9

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung“ 1926.

Wärmetechnische Beratungsstelle
der deutschen Glasindustrie
Frankfurt a. M.

Herdraum, Häfen und Brenner von Oberflammöfen.

1	Ofen Nr.		O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	O 6	O 7	O 8	O 9	O 10	O 11	O 12
2	Art des Glases		Hohlglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Tafelglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Spiegelglas	Spiegelglas
3	Herdfläche des Ofens	qm	7,0	11,1	12,5	15,6	22,7	31,7	40,0	44,2	45,8	48,2	48,2	51,3
4	Inn. Länge des Herdraumes	m	3,50	5,70	5,70	6,00	6,30	9,76	10,70	11,48	11,46	11,36	11,36	11,80
5	„ Breite „ „	m	2,00	1,95	2,20	2,60	3,60	3,25	3,75	3,85	4,00	4,24	4,24	4,35
6	„ Höhe „ „	m	1,68	0,97	0,92	0,85	1,54	2,40	2,00	2,26	2,50	2,07	2,07	2,20
7	Rauminhalt des Herdraumes	cbm	11,3	10,0	10,6	11,8	32,2	72,5	75,0	86,5	104,0	94,0	94,0	102,0
8	Stärke des Gewölbes	cm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
9	„ des Bodens	cm	95	40	40	32	95	65	45	137	153	150	150	150
10	Anzahl der Häfen		8	20	20	20	8	16	16	16	16	16	16	16
11	Ob. Innendurchm. d. Häfen	cm	75	72 44	72 44	77 47	130	110 93	152 82	150 98	149 90	158 94	158 94	164 95
12	Unt. „ „ „	cm	70	65 37	65 37	73 43	126	105 88	149 79	146 92	143 84	155 91	155 91	161 92
13	Inn. Höhe „ „	cm	80	29	29	32	69	57	64	62	68	68	68	66
14	Mantelstärke „ „	cm	5,0	4,0	4,5	5,0	11,0	12,0	12,0	11,0	12,0	12,0	12,0	13,5
15	Bodenstärke „ „	cm	10,0	6,0	6,0	6,0	13,0	18,0	12,0	14,0	14,0	12,0	12,0	15,0
16	Spiegelfläche eines Hafens	qm	0,441	0,275	0,275	0,314	1,320	0,833	1,100	1,260	1,170	1,295	1,295	1,363
17	Fassungsvermögen eines Hafens	lit.	330	71	71	88	78	453	687	750	756	860	860	880
18	Ges.-Hafenspieg. : Herdfläche	%	50,4	49,5	44,0	40,2	46,3	42,0	44,0	45,7	40,8	43,9	43,0	42,5
19	Anzahl d. Gasbr. auf einer Seite		—	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2
20	Querschnitt eines Gasbrenner-Schachtes	qcm	—	1350	1800	1750	3600	1750	3750	5400	2500	4480	4480	2800
21	Länge „ „	cm	—	90	60	70	60	50	150	150	50	160	160	40
22	Breite „ „	cm	—	15	30	25	60	35	25	36	50	28	28	70
23	Anzahl der Luftbrenner auf einer Seite		—	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1
24	Querschnitt eines Luftbrenner-Schachtes	qcm	—	1800	1140	1960	3600	2700	4800	5400	3000	6840	6840	10 800
25	Länge „ „	cm	—	90	38	70	60	60	160	150	60	190	190	270
26	Breite „ „	cm	—	20	30	28	60	45	30	36	50	36	36	40
27	Gesamtquerschnitt des Brennermauls	qcm	2880	2640	2640	—	3700	6650	—	—	—	—	—	10 000
28	Brennermaulquerschnitt : Herdfläche	%	4,1	2,4	2,1	—	1,6	2,1	—	—	—	—	—	2,0

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung“ 1926.

Wärmetechnische Bera
der deutschen Glasi
Frankfurt a. I

1	Ofen Nr. . . . .
2	Herdfläche . . .
3	Inn. Länge einer Ga
4	„ Breite „
5	„ Höhe „
6	Rauminhalt „
7	Inn. Länge einer Lu
8	„ Breite „
9	„ Höhe „
10	Rauminhalt „
11	Rauminhalt Luftk.:
12	Rauminh. beid. Kamı
13	Höhe des Gitterwer
14	„ „ „
15	Inh. d. ausgegitt. Rau
16	„ „ „ „
17	Länge eines Gitters
18	Breite „ „
19	Höhe „ „
20	Anzahl der Steine i
21	„ „ „ „
22	Rauminh. d. St.: Aus
23	„ „ „
24	Gewicht d. Gitterwe
25	„ „ „
26	Heizfläche d. Gitterv
27	„ „ „
28	Heizfl. d. Gitterw. bei
29	Länge eines Gaswe
30	Querschnitt eines Ga
31	Länge eines Luftwe
32	Querschnitt eines Lu
33	Heizfläche: Rauminh
34	Inh. d. ausgegitt. Rau
35	„ „ „ „
36	Luftkanalheizfl.: Git
37	Gas- „

Wärmetechnische Beratungsstelle
der deutschen Glasindustrie
Frankfurt a. M.

Kammern und Wechselkanäle von Büttenöfen

		B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10	B 11	B 12	B 13	B 14	B 15	B 16
1	Ofen Nr.	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10	B 11	B 12	B 13	B 14	B 15	B 16
2	Herdfläche . . . qm	4,7	5,0	6,9	7,0	7,5	8,5	9,0	9,4	9,6	10,1	10,2	10,8	11,9	12,2	12,2	12,8
3	Inn. Länge einer Gaskammer . . . m	1,75	1,20	1,30	2,00	2,00	2,00	1,60	2,40	1,80	3,00	3,00	1,40	2,40	1,85	1,85	1,75
4	„ Breite „ „ . . . m	0,50	0,90	1,03	0,35	0,70	1,00	1,05	1,00	1,00	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,06	1,05
5	„ Höhe „ „ . . . m	1,60	1,80	1,60	1,60	1,50	1,80	1,70	1,60	2,00	1,20	1,20	1,70	1,60	1,68	1,68	2,50
6	Rauminhalt „ „ . . cbm	1,40	1,95	2,15	1,12	2,10	3,60	2,80	3,84	3,60	4,32	4,32	2,38	3,84	3,13	3,13	4,60
7	Inn. Länge einer Luftkammer . . . m	1,00	1,20	1,30	2,00	2,00	2,00	1,60	2,40	1,80	3,60	3,40	1,40	2,40	1,85	1,85	1,75
8	„ Breite „ „ . . . m	0,80	0,90	1,03	0,50	0,70	1,00	1,05	1,00	1,00	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05
9	„ Höhe „ „ . . . m	1,60	1,80	1,60	1,60	1,50	1,80	1,70	1,60	2,00	1,20	1,20	1,70	1,60	1,68	1,68	2,50
10	Rauminhalt „ „ . . cbm	1,28	1,95	2,15	1,60	2,10	3,60	2,80	3,84	3,60	5,20	4,90	2,38	3,84	3,13	3,13	4,60
11	Rauminhalt Luftk.: Rauminh. Gask. %	91,5	100	100	143	100	100	100	100	100	120	113	100	100	100	100	100
12	Rauminh. beid. Kammern: Herdfl. cbm/qm	0,57	0,77	0,62	0,39	0,56	0,85	0,62	0,82	0,75	0,94	0,90	0,44	0,65	0,51	0,51	0,72
13	Höhe des Gitterwerks in der Gask. m	1,30	1,32	1,25	1,30	1,20	1,20	1,56	1,20	1,70	1,20	1,20	1,20	1,20	1,56	1,56	1,64
14	„ „ „ „ „ Luftk. m	1,10	1,32	1,25	1,30	1,20	1,20	1,56	1,20	1,70	1,20	1,20	1,20	1,20	1,56	1,56	1,64
15	Inh. d. ausgegitt. Raumes ein. Gask. cbm	1,14	1,43	1,67	0,91	1,68	2,40	2,62	2,88	3,06	4,32	4,32	1,68	2,88	3,10	2,88	3,02
16	„ „ „ „ „ Luftk. cbm	0,88	1,43	1,67	1,30	1,68	2,40	2,62	2,88	3,06	5,18	4,88	1,68	2,88	3,10	2,88	3,02
17	Länge eines Gittersteins . . . . cm	50	25	25	50	50	50	50	50	30	32	32	30	50	50	50	25
18	Breite „ „ . . . . cm	7	6	6	7	7	7	6,5	8	9	10	10	10	8	6,5	6,5	8
19	Höhe „ „ . . . . cm	14	12	12,5	14	14	14	12	12	9	10	10	10	12	12	12	12
20	Anzahl der Steine in einer Gaskammer	98	385	416	112	160	224	275	200	760	500	500	275	200	350	350	650
21	„ „ „ „ „ Luftkammer	80	385	416	112	160	224	275	200	760	560	560	275	200	350	350	650
22	Rauminh. d. St.: Ausgegitt. R. d. Gask. %	42,1	48,4	46,5	60,6	46,7	45,7	40,9	33,3	60,2	37,1	37,1	49,0	33,3	44,0	47,4	51,8
23	„ „ „ „ „ „ Luftk. %	44,7	48,4	46,5	42,4	46,7	45,7	40,9	33,3	60,2	34,6	36,6	49,0	33,3	44,0	47,4	51,8
24	Gewicht d. Gitterwerks einer Gask. kg	888	1280	1435	1020	1450	2025	1980	1775	3400	2960	2960	1525	1775	2525	2525	2890
25	„ „ „ „ Luftk. kg	727	1280	1435	1020	1450	2025	1980	1775	3400	3310	3310	1525	1775	2525	2525	2890
26	Heizfläche d. Gitterwerks ein. Gask. qm	22,6	40,0	45,0	27,6	36,8	51,5	55,0	43,8	94,5	74,0	74,0	38,6	43,8	70,0	70,0	77,5
27	„ „ „ „ Luftk. qm	18,4	40,0	45,0	27,6	36,8	51,5	55,0	43,8	94,5	83,0	83,0	38,6	43,8	70,0	70,0	77,5
28	Heizfl. d. Gitterw. beid. K.: Herdfl. qm/qm	8,7	15,9	13,1	7,9	9,8	12,1	12,1	9,3	19,6	15,5	15,4	7,1	7,4	11,5	11,5	12,1
29	Länge eines Gaswechselkanals . . m	8,5	8,0	4,5	8,5	8,0	13,0	15,0	9,5	5,4	7,0	8,0	12,5	9,5	17,5	18,0	24,0
30	Querschnitt eines Gaswechselkanals qm	0,16	0,64	0,45	0,36	0,52	0,64	0,39	0,36	0,26	0,30	0,30	0,39	0,36	0,39	0,39	0,42
31	Länge eines Luftwechselkanals . . m	7,0	10,0	3,0	7,5	7,0	13,0	15,0	9,5	6,0	26,0	25,0	12,5	9,5	17,5	18,0	24,0
32	Querschnitt eines Luftwechselkanals qm	0,16	0,64	0,45	0,36	0,52	0,64	0,39	0,36	0,26	0,30	0,30	0,39	0,36	0,39	0,39	0,42
33	Heizfläche: Rauminh. d. Gitterw. qm/cbm	20,3	28,0	27,0	24,9	21,9	21,5	21,0	15,2	30,9	16,5	17,1	23,0	15,2	22,6	24,3	25,6
34	Inh. d. ausgegitt. Raum. beid. Kamm. cbm	2,02	2,86	3,34	2,21	3,36	4,80	5,24	5,76	6,12	9,50	9,20	3,36	5,76	6,20	5,76	6,04
35	„ „ „ „ : Herdfl. cbm/qm	0,43	0,56	0,48	0,31	0,45	0,56	0,58	0,61	0,63	0,94	0,90	0,31	0,48	0,51	0,47	0,47
36	Luftkanalheizfl.: Gitterwerksheizfl. %	90,0	114,0	25,4	93,5	79,0	115,0	97,5	78,5	18,5	98,5	95,0	116,0	78,5	89,5	92,0	115,0
37	Gas- „ „ %	86,0	91,5	38,0	106,0	90,0	115,0	97,5	78,5	16,7	29,5	33,8	116,0	78,5	89,5	92,0	115,0

		B 17	B 18	B 19	B 20	B 21	B 22	B 23	B 24	B 25	B 26	B 27	B 28	B 29	B 30	B 31	B 32
1	Ofen Nr.	B 17	B 18	B 19	B 20	B 21	B 22	B 23	B 24	B 25	B 26	B 27	B 28	B 29	B 30	B 31	B 32
2	Herdfläche . . . qm	13,3	13,7	13,8	14,2	14,6	15,6	15,6	16,0	16,0	16,1	16,6	16,7	17,7	20,0	21,7	27,6
3	Inn. Länge einer Gaskammer . . . m	2,40	2,40	2,20	1,60	2,40	1,80	1,75	1,60	2,40	1,90	2,40	2,00	2,00	2,50	2,25	2,00
4	„ Breite „ „ . . . m	1,00	1,00	1,64	1,45	1,00	1,60	1,00	1,45	1,00	1,30	1,00	1,00	1,10	1,00	1,20	1,00
5	„ Höhe „ „ . . . m	1,60	1,60	2,40	2,32	1,60	2,30	1,72	2,32	1,60	1,72	1,60	3,10	1,50	2,30	2,00	3,00
6	Rauminhalt „ „ . . cbm	3,84	3,84	8,70	5,40	3,84	6,60	3,01	5,40	3,84	4,24	3,84	6,20	3,30	5,75	5,40	6,00
7	Inn. Länge einer Luftkammer . . . m	2,40	2,40	2,20	1,60	2,40	1,80	1,75	1,60	2,40	1,90	2,40	2,00	2,00	2,50	2,25	2,00
8	„ Breite „ „ . . . m	1,00	1,00	1,64	1,45	1,00	1,60	1,00	1,45	1,00	1,30	1,00	1,00	1,10	1,00	1,20	1,00
9	„ Höhe „ „ . . . m	1,60	1,60	2,40	2,32	1,60	2,30	1,72	2,32	1,60	1,72	1,60	3,10	1,50	2,30	2,00	3,00
10	Rauminhalt „ „ . . cbm	3,84	3,84	8,70	5,40	3,84	6,60	3,01	5,40	3,84	4,24	3,84	6,20	3,30	5,75	5,40	6,00
11	Rauminhalt Luftk.: Rauminh. Gask. %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
12	Rauminh. beid. Kammern: Herdfl. cbm/qm	0,58	0,56	1,26	0,76	0,53	0,85	0,38	0,67	0,48	0,53	0,46	0,74	0,38	0,58	0,50	0,52
13	Höhe des Gitterwerks in der Gask. m	1,20	1,20	2,10	1,65	1,20	2,10	1,56	1,65	1,20	1,68	1,20	1,82	1,20	1,75	1,80	2,08
14	„ „ „ „ „ Luftk. m	1,20	1,20	2,10	1,65	1,20	2,10	1,56	1,65	1,20	1,68	1,20	1,82	1,20	1,75	1,80	2,08
15	Inh. d. ausgegitt. Raumes ein. Gask. cbm	2,88	2,88	7,57	3,83	2,88	6,04	2,73	3,83	2,88	4,14	2,88	3,64	2,64	4,37	4,85	4,17
16	„ „ „ „ „ Luftk. cbm	2,88	2,88	7,57	3,83	2,88	6,04	2,73	3,83	2,88	4,14	2,88	3,64	2,64	4,37	4,85	4,17
17	Länge eines Gittersteins . . . . cm	50	50	46	47	50	47	50	47	50	50	50	25	20	25	25	50
18	Breite „ „ . . . . cm	8	8	8	8	8	8	6,5	8	8	6,5	8	7	6	6,5	6,5	7,5
19	Höhe „ „ . . . . cm	12	12	15	15	12	15	12	15	12	12	12	13	6	12,5	12	7,5
20	Anzahl der Steine in einer Gaskammer	200	200	440	400	200	450	350	400	200	350	200	800	800	968	800	480
21	„ „ „ „ „ Luftkammer	200	200	440	400	200	450	350	400	200	350	200	800	800	968	800	480
22	Rauminh. d. St.: Ausgegitt. R. d. Gask. %	33,3	33,3	32,6	58,5	33,3	41,8	49,8	58,5	33,3	33,0	33,3	50,2	21,8	44,3	32,2	32,4
23	„ „ „ „ „ „ Luftk. %	33,3	33,3	32,6	58,5	33,3	41,8	49,8	58,5	33,3	33,0	33,3	50,2	21,8	44,3	32,2	32,4
24	Gewicht d. Gitterwerks einer Gask. kg	1775	1775	4570	4150	1775	4670	2520	4150	1775	2525	1775	3380	1065	3580	2890	2500
25	„ „ „ „ Luftk. kg	1775	1775	4570	4150	1775	4670	2520	4150	1775	2525	1775	3380	1065	3580	2890	2500
26	Heizfläche d. Gitterwerks ein. Gask. qm	43,8	43,8	101,0	94,5	43,8	106,0	70,0	94,5	43,8	70,0	43,8	94,5	44,0	108,0	86 5	77,5
27	„ „ „ „ Luftk. qm	43,8	43,8	101,0	94,5	43,8	106,0	70,0	94,5	43,8	70,0	43,8	94,5	44,0	108,0	86,5	77,5
28	Heizfl. d. Gitterw. beid. K.: Herdfl. qm/qm	6,6	6,4	14,8	13,3	6,0	13,6	9,0	11,8	5,5	8,7	5,3	11,3	5,0	10,8	8,0	5,6
29	Länge eines Gaswechselkanals . . m	9,5	9,5	11,0	12,0	9,5	11,0	17,5	11,5	9,5	18,0	9,5	—	16,0	4,2	9,0	18,0
30	Querschnitt eines Gaswechselkanals qm	0,36	0,36	0,36	0,45	0,36	0,36	0,39	0,45	0,36	0,39	0,36	—	0,30	0,48	0,54	0,56
31	Länge eines Luftwechselkanals . . m	9,5	9,5	11,0	12,0	9,5	11,0	17,5	11,5	9,5	18,0	9,5	—	16,0	3,5	9,0	24,0
32	Querschnitt eines Luftwechselkanals qm	0,36	0,36	0,36	0,45	0,36	0,36	0,39	0,45	0,36	0,39	0,36	—	0,30	0,48	0,54	0,56
33	Heizfläche: Rauminh. d. Gitterw. qm/cbm	15,2	15,2	13,4	24,7	15,2	17,6	25,6	24,7	15,2	16,9	15,2	25,9	16,7	24,6	17,8	18,6
34	Inh. d. ausgegitt. Raum. beid. Kamm. cbm	5,76	5,76	15,14	7,66	5,76	12,08	5,46	7,66	5,76	8,28	5,76	7,28	5,28	8,74	9,72	8,28
35	„ „ „ „ : Herdfl. cbm/qm	0,43	0,42	1,09	0,54	0,39	0,77	0,34	0,48	0,36	0,51	0,34	0,43	0,30	0,43	0,44	0,30
36	Luftkanalheizfl.: Gitterwerksheizfl. %	78,5	78,5	37,4	49,0	78,5	35,6	89,5	47,0	78,5	92,0	78,5	—	113,0	75,0	44,0	132,5
37	Gas- „ „ %	78,5	78,5	37,4	49,0	78,5	35,6	89,5	47,0	78,5	92,0	78,5	—	113,0	75,0	44,0	99,5

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung“ 1926.

Wärmetechnische Beratungsstelle
der deutschen Glasindustrie
Frankfurt a. M.

Kammern und Wechselkanäle von Schlitzöfen

1	Ofen Nr.	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16	S 17
2	Herdfläche . . . qm	11,6	12,0	12,0	13,2	14,9	15,0	16,4	17,2	19,6	20,1	21,4	22,2	23,1	23,6	23,6	23,7	33,1
3	Innere Länge einer Gaskammer . . . m	1,90	1,80	2,20	2,00	2,82	2,00	1,56	2,50	2,60	2,00	2,75	2,10	2,65	2,75	2,75	2,50	2,80
4	„ Breite „ „ . . . m	1,10	1,15	1,10	1,60	1,00	1,00	1,35	1,20	1,00	1,60	1,00	1,10	1,28	1,20	1,25	1,35	1,25
5	„ Höhe „ „ . . . m	2,20	1,75	2,40	2,60	2,00	2,06	1,28	1,70	2,06	2,60	2,00	2,00	1,95	2,00	2,00	2,00	1,80
6	Rauminhalt „ „ . . . cbm	4,60	3,65	5,83	8,32	5,64	4,12	2,70	5,10	5,36	8,32	5,50	4,63	6,62	6,60	6,90	6,75	6,30
7	Innere Länge einer Luftkammer . . . m	1,90	1,80	2,20	2,00	2,82	2,00	1,90	2,50	2,60	2,00	2,75	2,10	2,65	2,75	2,75	2,50	2,80
8	„ Breite „ „ . . . m	1,10	1,15	1,10	1,60	1,00	1,25	1,35	1,20	1,25	1,60	1,00	1,10	1,28	1,20	1,25	1,35	1,25
9	„ Höhe „ „ . . . m	2,20	1,75	2,40	2,60	2,00	2,06	1,28	1,70	2,06	2,60	2,00	2,00	1,95	2,00	2,00	2,00	1,80
10	Rauminhalt „ „ . . . cbm	4,60	3,65	5,88	8,32	5,64	5,15	3,30	5,10	6,70	8,32	5,50	4,63	6,62	6,60	6,90	6,75	6,30
11	Rauminh. Luftkammer : Rauminh. Gaskammer %	100	100	100	100	100	125	122	100	125	100	100	100	100	100	100	100	100
12	Rauminh. beider Kammern : Herdfläche cbm/qm	0,79	0,61	0,97	1,26	0,75	0,61	0,37	0,60	0,61	0,83	0,51	0,41	0,57	0,56	0,58	0,57	0,38
13	Höhe des Gitterwerks in der Gaskammer . m	2,10	1,60	2,10	1,92	1,25	1,56	1,25	1,50	1,56	1,92	1,38	1,80	1,54	1,38	1,38	1,44	1,60
14	„ „ „ „ „ Luftkammer . m	2,10	1,60	2,10	1,92	1,25	1,56	1,25	1,50	1,56	1,92	1,38	1,80	1,54	1,38	1,38	1,44	1,70
15	Inh. d. ausgegitt. Raumes einer Gaskammer cbm	4,38	3,31	5,08	6,14	3,53	3,12	2,63	4,50	4,06	6,14	3,79	4,17	5,22	4,56	4,75	4,86	5,60
16	„ „ „ „ „ Luftkammer cbm	4,38	3,31	5,08	6,14	3,53	3,91	3,20	4,50	5,07	6,14	3,79	4,17	5,22	4,56	4,75	4,86	5,95
17	Länge eines Gittersteins . . . cm	30	32	32	32	25	33/35	33	30	33/35	32	25	34	30	25	25	25	30
18	Breite „ „ . . . cm	11	8	10	8	6,5	8	7,5	10	8	8	7	8	11	7	7	7	10
19	Höhe „ „ . . . cm	11	16	10	16	12,5	12	12,5	10	12	16	12,5	15	11	12,5	12,5	12	10
20	Anzahl der Steine in einer Gaskammer . . .	600	400	750	450	900	500	400	550	600	450	850	416	730	850	850	1080	680
21	„ „ „ „ „ Luftkammer . . .	600	400	750	450	900	600	490	550	700	450	850	416	730	850	850	1080	720
22	Rauminh. d. Steine : ausgegitt. Raum d. Gask. %	49,3	49,8	47,3	30,0	51,4	50,8	47,1	36,7	46,9	30,0	49,3	40,9	50,4	41,0	39,4	46,7	36,5
23	„ „ „ : „ „ d. Luftk. %	49,3	49,8	47,3	30,0	51,4	48,7	47,5	36,7	46,4	30,0	49,3	40,9	50,4	41,0	39,4	46,7	36,4
24	Gewicht des Gitterwerks einer Gaskammer kg	4000	3050	4440	3410	3360	2930	2290	3050	3520	3410	3460	3150	4870	3460	3460	4190	3780
25	„ „ „ „ Luftkammer kg	4000	3050	4440	3410	3360	3520	2810	3050	4350	3410	3460	3150	4870	3460	3460	4190	4000
26	Heizfläche „ „ „ Gaskammer qm	94	72	111	81	100	76	60	77	91	81	98	75	114	98	98	121	95
27	„ „ „ „ Luftkammer qm	94	72	111	81	100	96	74	77	111	81	98	75	114	98	98	121	100
28	Heizfl. d. Gitterw. beid. Kamm. : Herdfl. qm/qm	16,1	12,0	18,5	12,3	13,4	11,4	8,1	8,9	10,3	8,1	9,1	6,7	9,8	8,3	8,3	10,2	5,9
29	Heizfläche : Gewicht des Gitterwerks . qm/to	23,4	23,6	25,0	23,8	29,8	26,6	26,2	25,2	25,7	23,8	28,3	23,8	23,5	28,3	28,3	28,9	25,1
30	Länge eines Gaswechselkanals . . . m	8,5	9,0	7,0	8,0	16,0	10,0	4,2	10,5	8,0	8,0	13,4	10,0	12,0	13,4	13,3	17,0	14,0
31	Querschn. „ „ . . . qm	0,30	0,36	0,36	0,36	0,24	0,33	0,25	0,27	0,33	0,36	0,36	0,52	0,30	0,36	0,52	0,60	0,64
32	Rauminh. Gaskanal : Rauminh. Luftkammer %	55,4	89,0	43,2	34,6	68,0	80,2	38,9	56,7	49,3	34,6	87,8	113,0	54,4	73,0	100,0	151,0	142,0
33	Länge eines Luftwechselkanals . . . m	25,0	7,0	20,0	20,0	16,0	10,0	4,9	13,0	8,0	20,0	13,4	8,0	14,0	13,4	13,3	17,0	10,0
34	Querschn. „ „ . . . qm	0,30	0,36	0,36	0,36	0,24	0,33	0,25	0,27	0,33	0,36	0,36	0,52	0,30	0,36	0,52	0,60	0,64
35	Rauminh. Luftkanal : Rauminh. Luftkammer %	163,0	69,0	123,5	86,5	68,2	64,1	37,2	70,1	39,4	86,5	38,0	91,0	63,5	72,2	101,0	151,8	101,5
36	Heizfläche : Rauminhalt des Gitterwerks qm/cbm	21,3	21,7	21,8	13,2	28,3	24,4	22,8	17,1	22,1	13,1	25,9	18,0	21,9	21,5	20,6	25,0	16,9
37	Inh. d. ausgegitt. Raumes beider Kammern m³	8,76	6,62	10,26	12,28	7,06	7,03	5,83	9,00	9,13	12,28	7,58	8,34	10,44	9,12	9,50	9,72	11,55
38	„ „ „ „ : Herdfläche cbm/qm	0,75	0,55	0,85	0,93	0,47	0,46	0,35	0,52	0,46	0,61	0,35	0,37	0,45	0,38	0,40	0,41	0,35
39	Umfang des Luftkanals . . . m	2,2	2,4	2,4	2,4	1,9	2,3	2,0	2,1	2,3	2,4	2,4	2,9	2,2	2,4	2,9	3,1	3,2
40	„ „ Gaskanals . . . m	2,2	2,4	2,4	2,4	1,9	2,3	2,0	2,1	2,3	2,4	2,4	2,9	2,2	2,4	2,9	3,1	3,2
41	Heizfläche des Luftkanals . . . qm	54,8	16,8	48,0	48,0	31,4	23,0	9,8	27,3	18,4	48,0	32,2	29,0	30,7	32,2	38,6	52,7	3,2
42	„ „ Gaskanals . . . qm	18,6	21,6	16,8	19,2	31,4	23,0	8,4	22,0	18,4	19,2	32,2	23,2	26,3	32,2	38,6	52,7	32,0
43	Luftkanalheizfläche : Gitterwerkheizfläche . %	84,0	33,3	61,8	84,8	44,8	34,4	19,0	50,5	23,7	84,8	47,0	55,3	38,5	32,2	38,6	52,7	44,8
44	Gaskanalheizfläche : Gitterwerkheizfläche . %	28,7	42,8	21,6	33,9	44,8	43,4	20,0	43,6	28,9	33,9	47,0	55,3	33,0	47,0	56,4	62,2	67,5

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung“ 1926.

Wärmetechnische Beratungsstelle
der deutschen Glasindustrie
Frankfurt a. M.

Kammern und Wechselkanäle von Oberflammöfen

1	Ofen Nr.	O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	O 6	O 7	O 8	O 9	O 10	O 11	O 12
2	Herdfläche . . . qm	7,0	11,1	12,5	15,6	22,7	31,7	40,0	44,2	45,8	48,2	48,2	51,3
3	Innere Länge einer Gaskammer . . . m	2,50	4,05	2,90	3,00	4,00	4,50	4,00	5,10	5,70	8,80	8,80	4,65
4	„ Breite „ „ . . . m	0,80	0,95	0,96	1,00	1,00	1,70	1,50	1,85	1,80	1,50	1,50	1,90
5	„ Höhe „ „ . . . m	1,94	1,50	2,00	2,05	1,70	2,40	3,00	3,17	2,65	2,80	2,80	3,00
6	Rauminhalt einer Gaskammer . . . cbm	3,8	5,7	5,5	6,1	6,8	18,4	18,0	29,9	27,2	37,0	37,0	26,5
7	Innere Länge einer Luftkammer . . . m	2,50	4,05	2,90	3,00	4,25	4,50	4,00	5,90	5,70	8,80	8,80	5,20
8	„ Breite „ „ . . . m	1,00	0,95	0,96	1,00	1,25	1,70	1,50	2,05	1,80	2,00	2,00	2,58
9	„ Höhe „ „ . . . m	2,25	1,50	2,00	2,05	1,80	3,20	3,00	3,27	2,65	2,70	2,70	3,00
10	Rauminhalt „ „ . . . cbm	5,6	5,7	5,5	6,1	9,5	24,5	18,0	39,6	27,2	47,5	47,5	40,3
11	Rauminhalt Luftkammer : Rauminhalt Gaskammer . %	145	100	100	100	141	133	100	133	100	128	128	152
12	Rauminhalt beider Kammern : Herdfläche . . . cbm/qm	1,36	1,04	0,89	0,78	0,72	1,35	0,90	1,57	1,19	1,76	1,76	1,30
13	Höhe des Gitterwerks in der Gaskammer . . . . m	1,69	1,40	1,90	1,70	1,32	1,68	2,40	2,40	2,10	1,68	1,68	2,10
14	„ „ „ „ „ Luftkammer . . . . m	2,00	1,40	1,90	1,70	1,32	2,04	2,40	2,40	2,10	1,68	1,68	2,10
15	Inhalt des ausgegitterten Raumes einer Gaskammer cbm	3,38	5,38	5,28	5,10	5,28	12,86	14,40	22,60	21,60	22,20	22,20	18,50
16	„ „ „ „ „ Luftkammer cbm	5,00	5,38	5,28	5,10	7,04	15,60	14,40	29,00	21,60	29,60	29,60	28,00
17	Länge eines Gittersteins . . . cm	25	30	32	32	25	25	25	25	24	25	25	25
18	Breite „ „ . . . cm	7	10	10,5	10	6	7	6	6	6	6	6	6
19	Höhe „ „ . . . cm	12,5	10	10,5	10	12	12	12	12	6	12	12	12
20	Anzahl der Steine in einer Gaskammer . . .	—	560	750	822	800	1600	1900	3000	5000	2800	2800	2500
21	„ „ „ „ „ Luftkammer . . .	—	700	750	822	1000	1950	2000	4000	6000	4000	4000	3500
22	Rauminhalt der Steine : ausgegitt. Raum der Gask. . %	—	31,3	50,2	51,5	31,8	26,1	27,8	23,9	20,1	26,5	26,5	28,4
23	„ „ „ : „ „ „ Luftk. . %	—	39,0	50,2	51,5	29,8	26,2	29,1	24,6	24,2	28,4	28,4	26,1
24	Gewicht des Gitterwerks einer Gaskammer . . . kg	—	3110	4900	4860	3110	6220	7400	10000	8050	10870	10870	9720
25	„ „ „ „ Luftkammer . . . kg	—	3880	4900	4860	3880	7590	7770	13300	9680	15540	15540	13600
26	Heizfläche des Gitterwerks einer Gaskammer . . qm	—	78	117	121	89	180	213	315	325	314	314	280
27	„ „ „ „ Luftkammer . . qm	—	98	117	121	112	219	224	420	390	448	448	393
28	Heizfläche des Gitterwerks beid. Kamm. : Herdfl. qm/qm	–	15,90	18,75	15,60	8,88	12,60	10,93	16,60	15,65	15,80	15,80	13,10
29	Länge eines Gaswechselkanals . . . m	3,60	8,50	6,70	3,50	8,50	2,50	6,00	4,00	5,00	5,50	5,50	2,00
30	Querschnitt eines „ . . . qm	0,28	0,27	0,27	0,39	0,56	1,03	0,52	1,45	0,68	0,72	0,72	0,73
31	Länge eines Luftwechselkanals . . . m	7,40	2,50	7,00	3,00	8,00	5,00	2,00	4,00	12,00	25,00	25,00	1,50
32	Querschnitt eines „ . . . qm	0,28	0,27	0,27	0,39	0,56	1,03	0,98	1,65	0,68	0,64	0,64	0,82
33	Heizfläche : Rauminhalt des Gitterwerks . . . . qm/cbm	—	16,4	22,2	23,8	16,4	14,0	15,2	14,3	16,5	14,7	14,7	14,4
34	Inhalt des ausgegitt. Raumes beider Kammern . . cbm	8,38	10,76	10,56	10,20	12,32	28,46	28,80	51,60	43,20	51,80	51,80	46,7
35	„ „ „ „ : Herdfläche . . . cbm/qm	1,20	0,97	0,84	0,65	0,54	0,90	0,72	1,16	0,94	1,08	1,08	0,91
36	Luftkanalheizfläche : Gitterwerksheizfläche . . . . %	—	7,6	17,9	8,8	30,6	13,3	5,0	7,0	14,5	25,4	25,4	2,0
37	Gaskanalheizfläche : „ . . . . %	—	32,4	17,2	10,3	40,7	8,1	11,7	8,7	7,2	8,5	8,5	3,4

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung“ 1926

Wärmetechnische Beratungsstelle
der deutschen Glasindustrie
Frankfurt a. M.

Betriebsangaben über Gemenge-, Glas- und Brennstoffmengen bei Büttenöfen.

	1 Ofen No.	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10	B 11
2	Art des Glases	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.
3	Herdfläche qm	4,7	5,0	6,9	7,0	7,8	8,5	9,0	9,4	9,6	10,1	10,2
4	Art der Generatoren	Planrost	Schacht gen.	—	Planrost	Planrost	Planrost	—	Treppen rost	Treppen rost	Plan- u. Schrägr.	Plan- u. Schrägr.
5	Anzahl der Schmelzen im Monat	26	26	24	26	26	26	26	25	26	26	26
6	Anzahl der Einlagen je Schmelze	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3
7	Gesamteinlage je Schmelze kg	904	1500	920	1587	2546	2739	2400	4600	3100	1400	1400
8	Reines Gemenge: Gesamteinl. %	73,4	60,0	69,5	49,5	59,2	52,7	66,7	74,0	93,6	57,2	57,2
9	Scherben: Gesamteinlage %	26,6	40,0	30,5	50,5	40,8	47,3	33,3	26,0	6,4	42,8	42,8
10	Dauer der Rauhschmelze Stund.	9	11	6	9,5	9	9	8	10	11,5	10	10
11	„ „ Feinschmelze „	4,5	3	3	4	4,5	4,5	3	3	2,5	3	3
12	Ganze Schmelzdauer (Rauh.- u. Feinschm.) „	13,5	14	9	13,5	13,5	13,5	11	13	14	13	13
13	Dauer des Abstehens „	1	1	7	1	1	1	3	2	1,5	2	2
14	„ „ Ausarbeitens „	9,5	9	8	9,5	9,5	9,5	10	9	8,5	9	9
15	„ „ vollen Schmelzganges „	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
16	Fertigglas je Schmelze kg	—	600	560	—	—	—	1721	3700	—	—	—
17	Abfallglas „ „ „	—	600	265	—	—	—	360	600	—	—	—
18	Geschmolz. Glas je Schmelze „	791	1200	825	1449	2230	2476	2080	4300	2650	1300	1300
19	Geschmolzenes Glas: (Gemenge und Scherben) %	87,5	80,0	89,7	91,5	87,8	90,4	86,8	93,5	85,5	92,8	92,8
20	„ „ : volle Gangdauer kg/Std.	33	50	34	60	93	103	92	179	110	54	54
21	„ „ : Herdfläche: volle Gangdauer kg/qm/St.	7,0	9,9	5,0	8,6	12,3	12,1	10,2	19,0	11,4	5,3	5,3
22	Gesamtverbrauch an Steinkohle je Schmelzgang kg	—	6000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	„ „ Braunk.-Briketts je Schmelzgang „	3230	—	—	3580	9340	7920	—	9800	—	—	—
24	„ „ Böhm. Braunk. „ „ „	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	„ „ Rohbraunk. „ „ „	—	—	—	—	—	—	9000	8000	6550	5750	6520
26	Gesamtwärmeverbrauch je Schmelzgang WE: 10^6	16,4	22,5	—	18,2	47,6	40,4	22,6	63,9	26,2	23,2	26,3
27	Schmelzwärmeverbrauch: Gesamtwärmeverbrauch %	—	—	—	—	52,7	51,9	—	—	—	—	—
28	Gesamtwärmeverbrauch: Geschmolzenes Glas WE/kg	20700	18750	—	22150	21350	16300	10900	14850	9880	17800	20200
29	Gesamtwärmeverbr.: Herdfl.: Volle Gangdauer WE/qm/St.	145000	186000	—	108500	262000	198000	104000	284000	110400	96000	107300
30	Schmelzwärmeverbrauch: geschmolzenes Glas WE/kg	—	—	—	—	11230	8480	—	—	—	—	—
31	Schmelzwärmeverbrauch.: Herdfl.: Schmelzdauer WE/qm/St.	—	—	—	—	246000	183000	—	—	—	—	—
32	Geamtwärmeverbr.: Brennerquerschn.: v. Gangd. WE/qm/St. 10^6	6,8	5,8	—	5,9	12,2	8,2	6,7	8,3	5,4	5,4	6,1
33	Gesamtwärmeverbrauch: Heizfläche eines Kammerpaares: volle Gangdauer WE/qm/Std.	16650	11700	—	13750	26700	16300	9200	30300	5650	6200	7000

	1 Ofen No.	B 12	B 13	B 14	B 15	B 16	B 17	B 18	B 19	B 20	B 21	B 22
2	Art des Glases	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.
3	Herdfläche qm	10,8	11,9	12,2	12,2	12,8	13,3	13,7	13,8	14,2	14,6	15,6
4	Art der Generatoren	1 Fach-Dachr.	Treppen rost	Planrost	—	Treppen rost	Treppen rost	Treppen rost	Drehrost	Drehrost	Treppen rost	Drehrost
5	Anzahl der Schmelzen im Monat	25	25	26	26	25 ÷ 28	25	25	26	26	25	26
6	Anzahl der Einlagen je Schmelze	3	3	2	2	4	3	3	3	3	3	3
7	Gesamteinlage je Schmelze kg	3120	4600	3750	4350	4800	4600	4600	—	2694	4600	3815
8	Reines Gemenge: Gesamteinl. %	42,3	74,0	78,8	72,4	89,6	74,0	74,0	—	67,2	74,0	54,9
9	Scherben: Gesamteinlage %	57,7	26,0	21,2	27,6	10,4	26,0	26,0	—	32,8	26,0	45,1
10	Dauer der Rauhschmelze Stund.	10	10	7	8,5	8	10	10	9,5	8	10	9,5
11	„ „ Feinschmelze „	4	3	4	2,5	4	3	3	2,5	3,5	3	2,5
12	Ganze Schmelzdauer (Rauh.- u. Feinschm.) „	14	13	11	11	12	13	13	12	11,5	13	12
13	Dauer des Abstehens „	2	2	3	3	2	2	2	2	2,5	2	2
14	„ „ Ausarbeitens „	8	9	10	10	10	9	9	10	10	9	10
15	„ „ vollen Schmelzganges „	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
16	Fertigglas je Schmelze kg	1000	3700	2480	2515	3530	3700	3700	3180	—	3700	—
17	Abfallglas „ „ „	1900	600	680	1865	390	600	600	200	—	600	—
18	Geschmolz. Glas je Schmelze „	2900	4300	3160	4380	3920	4300	4300	3380	2423	4300	3430
19	Geschmolzenes Glas: (Gemenge und Scherben) %	92,8	93,5	84,3	77,8	81,6	93,5	93,5	—	90,0	93,5	90,0
20	„ „ : volle Gangdauer kg/Std.	121	179	140	150	163	179	179	140	101	179	143
21	„ „ : Herdfläche: volle Gangdauer kg/qm/St.	11,2	15,0	11,5	12,3	12,8	13,4	13,0	10,2	7,1	12,2	9,2
22	Gesamtverbrauch an Steinkohle je Schmelzgang kg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	„ „ Braunk.-Briketts je Schmelzgang „	2500	9800	—	—	—	9800	9800	6150	6150	9800	15400
24	„ „ Böhm. Braunk. „ „ „	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	„ „ Rohbraunk. „ „ „	7600	8000	10000	10000	20000	8000	8000	7500	7500	8000	—
26	Gesamtwärmeverbrauch je Schmelzgang WE: 10^6	37,4	63,9	25,2	25,2	44,0	63,9	63,9	44,2	44,2	63,9	52,5
27	Schmelzwärmeverbrauch: Gesamtwärmeverbrauch %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	Gesamtwärmeverbrauch: Geschmolzenes Glas WE/kg	12900	14850	8000	7470	11250	14800	14850	13050	18250	14850	15250
29	Gesamtwärmeverbr.: Herdfl.: Volle Gangdauer WE/qm/St.	144000	224000	86000	86000	143000	200000	194000	133500	130000	183000	140000
30	Schmelzwärmeverbrauch: geschmolzenes Glas WE/kg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31	Schmelzwärmeverbrauch.: Herdfl.: Schmelzdauer WE/qm/St.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	Geamtwärmeverbr.: Brennerquerschn.: v. Gangd. WE/qm/St. 10^6	8,4	8,3	4,7	4,7	5,7	8,3	8,3	6,4	6,8	8,3	8,1
33	Gesamtwärmeverbrauch: Heizfläche eines Kammerpaares: volle Gangdauer WE/qm/Std.	20000	30300	8050	8000	11800	30300	30300	9000	9800	30300	10300

	1 Ofen No.	B 23	B 24	B 25	B 26	B 27	B 28	B 29	B 30	B 31	B 32
2	Art des Glases	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Tafelgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Hohlgl.	Tafelgl.
3	Herdfläche qm	15,6	16,0	16,0	16,1	16,6	16,7	17,7	20,0	21,7	27,6
4	Art der Generatoren	—	Drehrost	Treppen rost	—	Treppen rost	Treppen rost	Dachr.	Pl.-Tr. rost	Treppen rost	Treppen rost
5	Anzahl der Schmelzen im Monat	26	26	25	26	25	17	25	26	25	17 ÷ 18
6	Anzahl der Einlagen je Schmelze	2	3	3	2	3	—	3	4	3	5
7	Gesamteinlage je Schmelze kg	5400	4270	4600	4550	4600	—	3072	8500	6490	11900
8	Reines Gemenge: Gesamteinl. %	77,8	61,9	74,0	73,6	74,0	—	60,9	70,6	65,5	76,5
9	Scherben: Gesamteinlage %	22,2	38,1	26,0	26,4	26,0	—	39,1	29,4	34,5	23,5
10	Dauer der Rauhschmelze Stund.	8	9	10	8	10	—	7	10	10,5	13,5
11	„ „ Feinschmelze „	3,5	2,5	3	3,5	3	—	4	3	4	8,5
12	Ganze Schmelzdauer (Rauh.- u. Feinschm.) „	11,5	11,5	13	11,5	13	—	11	13	14,5	22
13	Dauer des Abstehens „	2,5	2,5	2	2,5	2	—	6	1	1	5
14	„ „ Ausarbeitens „	10	10	9	10	9	12	8,5	10	8,5	11
15	„ „ vollen Schmelzganges „	24	24	24	24	24	—	25,5	24	24	38
16	Fertigglas je Schmelze kg	3500	—	3700	3130	3700	5000	—	5000	4940	6400
17	Abfallglas „ „ „	820	—	600	750	600	2020	—	2500	840	3400
18	Geschmolz. Glas je Schmelze „	4320	3870	4300	3880	4300	7020	2780	7500	5780	9800
19	Geschmolzenes Glas: (Gemenge und Scherben) %	80,0	90,7	93,5	85,5	93,5	—	90,7	88,2	89,0	82,3
20	„ „ : volle Gangdauer kg/Std.	192	161	179	172	179	—	109	312	240	258
21	„ „ : Herdfläche: volle Gangdauer kg/qm/St.	12,3	10,1	11,2	10,7	10,8	—	6,2	15,6	11,1	9,3
22	Gesamtverbrauch an Steinkohle je Schmelzgang kg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	„ „ Braunk.-Briketts je Schmelzgang „	—	11000	9800	—	9800	—	—	—	—	—
24	„ „ Böhm. Braunk. „ „ „	—	—	—		—		—	—	—	—
25	„ „ Rohbraunk. „ „ „	21500	—	8000	19500	8000	—	17000	34600	30000	44000
26	Gesamtwärmeverbrauch je Schmelzgang WE: 10^6	54,3	38,4	63,9	49,1	63,9	—	74,5	79,6	80,0	97,0
27	Schmelzwärmeverbrauch: Gesamtwärmeverbrauch %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60,3
28	Gesamtwärmeverbrauch: Geschmolzenes Glas WE/kg	12560	9930	19850	12650	14850	—	26800	10600	13840	9900
29	Gesamtwärmeverbr.: Herdfl.: Volle Gangdauer WE/qm/St.	145000	100000	166000	127000	160000	—	165000	165700	153400	82200
30	Schmelzwärmeverbrauch: geschmolzenes Glas WE/kg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5970
31	Schmelzwärmeverbrauch.: Herdfl.: Schmelzdauer WE/qm/St.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	96400
32	Geamtwärmeverbr.: Brennerquerschn.: v. Gangd. WE/qm/St. 10^6	7,4	7,5	8,3	6,8	8,3	—	12,2	4,9	8,8	5,1
33	Gesamtwärmeverbrauch: Heizfläche eines Kammerpaares: volle Gangdauer WE/qm/Std.	17150	8500	30300	15600	30300	—	33000	16000	19100	14700

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung“ 1926.

Wärmetechnis
der deutsch
Fran

1	Ofen N
2	Art des
3	Herdflä
4	Art der
5	Anzahl
6	Anzahl
7	Gesamt
8	Reines
9	Scherbe
10	Dauer
11	"
12	Ganze
13	Dauer
14	"
15	"
16	Fertiggl
17	Abfallgl
18	Geschm
19	Geschm
20	Geschm
21	Geschm
22	Gesamt
23	"
24	"
25	"
26	Gesamt
27	Schmelz
28	Gesamt
29	Gesamt
30	Schmelz
31	Schmelz
32	Gesamt
33	

Wärmetechnische Beratungsstelle
der deutschen Glasindustrie
Frankfurt a. M.

Betriebsangaben über Gemenge-, Glas- und Brennstoffmengen bei Schlitzöfen

		S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16	S 17
1	Ofen Nr.	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16	S 17
2	Art des Glases	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Tafelglas	Hohlglas	Tafelglas	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Tafelglas	Tafelglas	Hohlglas	Tafelglas	Tafelglas	Hohlglas	Hohlglas	Hohlglas	Tafelglas
3	Herdfläche . . . qm	11,6	12,0	12,0	13,2	14,9	15,0	16,4	17,2	19,6	20,1	21,4	22,2	23,1	23,6	23,6	23,7	33,1
4	Art der Generatoren	Treppenr.	Drehrost	Treppenr.	Drehrost	Planrost	Treppenr.	Treppenr.	Hängerost	Dachrost	Drehrost	Drehrost	Treppenr.	Treppenr.	Drehrost	Drehrost	Drehrost	Dachrost
5	Anzahl der Schmelzperioden je Monat	17	17	16—17	17	26	18	16	15,5	18	18	26	17	18	26	26	26	20
6	Anzahl der Einlagen je Schmelze	3	2	3	2	3	2	4	3	2	—	4	5	3	4	4	4	3
7	Gesamteinlage je Schmelze . . . kg	5050	3500	5805	3625	3300	6625	5170	6416	7096	5050	5490	12360	9780	5500	8610	8610	8425
8	Reines Gemenge: Gesamteinlage . . . %	79,3	95,7	59,8	75,8	85,0	59,8	33,5	63,2	37,5	65,3	86,3	71,0	43,8	86,3	82,5	82,5	58,4
9	Scherben: Gesamteinlage . . . %	20,7	4,3	40,2	24,2	15,0	40,2	66,5	36,8	62,5	34,7	13,7	29,0	66,2	13,7	17,5	17,5	41,6
10	Dauer der Rauhschmelze . . . Std.	11,5	8	15	11	10	16	14	21,5	20	13	8	20,5	19	10	10	10	13
11	„ „ Feinschmelze . . . Std.	10,5	10	7	[illegible]	3	5	10	6,5	6	11	3	4	4	2,5	2,5	2,5	10
12	Ganze Schmelzdauer (Rauh- u. Feinschmelze) . . . Std.	22	18	22	20	13	21	24	28	26	24	11	24,5	23	12,5	12,5	12,5	23
13	Dauer des Abstehens . . . Std.	8	7	7	6	3	10	9	8	6	6	3	6	7	1,5	1,5	1,5	5
14	„ „ Ausarbeitens . . . Std.	14	12	14	12	8	9	12	12	9	10	10	11	9	10	10	10	8
15	„ „ vollen Schmelzganges . . . Std.	44	37	43	38	24	40	45	48	41	40	24	41,5	39	24	24	24	36
16	Fertigglas je Schmelze . . . kg	2800	2180	3000	2060	2800	3300	3000	3440	4150	2940	3950	4920	5525	3900	6000	6000	4360
17	Abfallglas „ „ . . . kg	900	150	2190	750	200	2665	1900	2320	2600	1260	750	4680	2950	800	1500	1500	3000
18	Geschmolzenes Glas je Schmelze . . . kg	3700	2330	5190	[illegible]	3000	5965	4900	5760	6750	4200	4700	9600	8475	4700	7500	7500	7360
19	Geschmolz. Glas: (Gemenge und Scherben) . . . %	73,3	66,7	89,5	77,6	91,0	90,0	94,8	90,0	95,2	83,2	85,7	77,6	86,7	85,6	87,0	87,0	87,4
20	Geschmolz. Glas: volle Gangdauer . . . kg/Std.	84	63	120	74	125	149	109	120	164	105	196	231	217	196	312	312	204
21	Geschmolz. Glas: Herdfläche: volle Gangdauer . . kg/qm/Std.	7,2	5,2	10,0	5,6	8,4	10,0	5,6	7,0	8,4	5,2	9,1	10,4	9,4	8,3	13,2	13,1	6,2
22	Gesamtverbr. an Steinkohlen je Schmelzgang . . . kg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	„ „ Braunk.-Brik. je „ . . . kg	—	—	—	—	—	—	—	—	6300	—	—	35300	—	—	—	—	17000
24	„ „ böhm. Braunk. je „ . . . kg	21200	18350	21800	[illegible]	7700	21700	26200	28000	17000	20300	15790	—	30000	15850	19400	19670	—
25	„ „ Rohbraunk. je „ . . . kg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	Gesamtwärmeverbrauch je Schmelzgang . . . WE: 10^6	67,8	66,0	87,3	[illegible]	40,0	78,2	96,0	112,0	93,2	73,2	71,0	169,0	96,0	71,3	87,3	88,4	83,2
27	Schmelzwärmeverbrauch: Gesamtwärmeverbrauch . . . %	—	—	—	—	—	50,8	—	—	—	—	41,4	—	—	41,7	41,7	41,2	58,3
28	Gesamtwärmeverbrauch: geschmolz. Glas . . . WE/kg	18300	28300	16800	20600	13300	13100	19600	19400	13800	17400	15100	17600	11300	15150	11650	11900	11300
29	Gesamtwärmeverbrauch: Herdfläche: volle Gangdauer WE/qm/Std.	133000	149000	169000	115500	112000	130000	130000	136000	116000	91000	138000	183500	106500	126000	154000	156000	70000
30	Schmelzwärmeverbrauch: geschmolz. Glas . . . WE/kg	—	—	—	—	—	6660	—	—	—	—	6250	—	—	6330	4850	4850	6600
31	Schmelzwärmeverbrauch: Herdfläche: Schmelzdauer WE/qm/Std.	—	—	—	—	—	126000	—	—	—	—	125000	—	—	100000	123500	122500	63700
32	Gesamtwärmeverbr.: Brennerquerschn.: v. Gangd. WE/qm/Std.: 10^6	5,7	7,3	6,7	4,6	7,9	7,9	6,6	9,2	7,9	6,0	7,8	13,2	7,3	7,8	9,6	9,8	5,3
33	„ : Heizfl. ein. Kammerpaares: v. Gangd. WE/qm/Std.	8250	12400	9150	9400	8400	11400	16000	15200	11200	11200	15000	27400	10800	15200	18500	15200	11900

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung“ 1926.

Wärmetechnische Beratungsstelle der deutschen Glasindustrie Frankfurt a. M.

Betriebsangaben über Gemenge-, Glas- und Brennstoffmengen bei Oberflammöfen.

1	Ofen Nr.		O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	O 6	O 7	O 8	O 9	O 10	O 11	O 12
2	Art des Glases		Hohlgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Tafelgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.	Spiegelgl.
3	Herdfläche	qm	7,0	11,1	12,5	15,6	22,7	31,7	40,0	44,2	45,8	48,2	48,2	51,2
4	Art der Generatoren		3 Schrägr.-Schachte	Drehr.	Drehr.	Drehr.	Dachr.	Morg.	Drehr.	Morg.	—	Drehr.	Dachr.	Drehr.
5	Anzahl der Schmelzgänge im Monat		25	56	56	55	21	30	30	30	30	25	25	25
6	Anzahl der Einlagen je Schmelze		2	2	2	2	5	4	3	4	4	4	4	4
7	Gesamteinlage je Schmelze	kg	3300	2050	2050	1720	7420	17200	22300	18200	20000	17900	17900	23700
8	Reines Gemenge: Gesamteinlage	%	91,0	70,7	70,7	76,8	71,7	87,2	66,8	89,0	90,0	75,5	75,5	83,6
9	Scherben: Gesamteinlage	%	9,0	29,3	29,3	23,2	28,3	12,8	33,2	11,0	10,0	24,5	24,5	16,4
10	Dauer der Rauhschmelze	Stund.	11,0	5,5	5,5	6,0	8,0	10,0	9,0	10,0	9,5	10,5	10,5	10,5
11	„ „ Feinschmelze	„	2,0	3,0	3,0	3,0	10,0	7,0	6,0	7,0	7,5	6,5	6,5	6,0
12	Ganze Schmelzdauer (Rauh- u. Feinschm.)	„	13,0	8,5	8,5	9,0	18,0	17,0	15,0	17,0	17,0	17,0	17,0	16,5
13	Dauer des Abstehens	„	3,0	1,5	1,5	1,5	4,0	5,0	7,0	5,0	5,5	5,0	5,0	5,5
14	„ „ Ausarbeitens	„	8,0	2,0	2,0	1,5	8,5	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0
15	„ „ vollen Schmelzganges	„	24,0	12,0	12,0	12,0	30,5	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
16	Fertigglas je Schmelze	kg	2200	1100	1100	1000	3780	8000	15000	12000	13500	12100	12100	15000
17	Abfallglas „ „	„	300	700	700	500	2250	2200	1300	2000	3000	1900	1900	4200
18	Geschmolzenes Glas je Schmelze	„	2500	1800	1800	1500	6030	10200	16300	14000	16500	14000	14000	19200
19	Geschmolzenes Glas: (Gemenge u. Scherben)	%	76,0	87,8	87,8	87,3	81,4	59,3	73,2	77,0	82,5	78,3	78,3	81,0
20	Geschmolzenes Glas: volle Gangdauer	kg/Std.	104	150	150	125	198	425	680	584	690	584	584	800
21	Geschm. Glas: Herdfl.: Volle Gangd.	kg/qm/Std.	14,9	13,5	12,0	7,1	8,7	13,4	17,0	13,2	15,0	12,1	12,1	15,6
22	Gesamtverbr. an Steinkohle je Schmelzgang	kg	6000	—	—	—	—	9440	—	17300	17400	12000	—	—
23	„ an Braunk.-Brik. „ „	„	—	—	—	—	20000	2360	31700	—	—	(nur für Schmelze)	—	27500
24	„ an Böhm. Braunk. „ „	„	—	4450	4450	4730	—	—	—	—	—	—	—	—
25	„ an Rohbraunk. „ „	„	—	—	—	—	11800	—	—	8200	—	—	50000	9000
26	Gesamtwärmeverbrauch je Schmelzgang	WE: 10^6	41,4	18,2	18,3	18,4	84,0	72,8	152,0	119,5	121,8	—	(nur für Schmelze)	144,0
27	Schmelzwärmeverbr.: Gesamtwärmeverbr.	%	—	—	—	61,4	48,0	75,0	—	69,5	79,2	—	—	76,3
28	Gesamtwärmeverbr.: Geschmolz. Glas	WE/kg	16550	10150	10180	12300	13900	—	9340	8550	7370	—	—	4500
29	Gesamtwärmeverbr.: Herdfl.: Volle Gangd.	WE/qm/Std.	246000	137000	122000	98500	121300	96000	158500	112500	110600	—	—	117000
30	Schmelzwärmeverbr.: geschmolz. Glas	WE/kg	—	—	—	7560	6680	8880	—	5930	5860	6170	6800	5730
31	„ Herdfl.: Schmelzd.	WE/qm/Std.	—	—	—	80500	99000	168000	—	110500	124000	105000	116000	94500
32	Gesamtwärmev.: Brennerquerschn.: v. Gangd.	WE/qm/Std. 10^6	6,1	5,7	5,8	—	7,6	4,6	—	—	—	—	—	5,8
33	„ : Heizfl. eines Kammerpaares: „	WE/qm/Std.	—	8620	6500	6250	13650	7600	14500	6750	—	7000	—	8900

Aus „Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativ-Feuerung" 1926.